DOSSIER Città più efficienti per un futuro sostenibile

Settembre 2017

€ 4,50

Le Scienze

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

Buchi neri e materia oscura

Nati subito dopo il big bang, i buchi neri primordiali potrebbero spiegare uno dei misteri più affascinanti del cosmo

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA RIVISTA MENSILE - NUMERO 589

Neuroscienze

La trama delle memorie che modella le esperienze

Archeologia

Nuove scoperte sul sito dove sorgeva la Troia di Omero

IN COPERTINA

La natura della materia oscura, che costituisce circa l'85 per cento della massa del cosmo, è un enigma la cui soluzione potrebbe arrivare da una popolazione particolare di buchi neri. (Copertina: Henning Dalhoff/Science Photo Library/AGF)

Sommario

settembre 2017 numero 589

Getty Images

Sommario

14

16

89

Rubriche

SCIENZA NEWS

tomch/iStock (*in alto*); Tang Yan Song/Shutterstock (*al centro*); Takosan/iStock (*in basso*)

di Marco Cattaneo

Il futuro dell'era urbana

Le metropoli di domani potrebbero salvare il pianeta

Secondo il rapporto *The World's Cities in 2016* delle Nazioni Unite, lo scorso anno nel mondo 512 città contavano più di un milione di abitanti. E 31 superavano quota dieci milioni. Entro il 2030 se ne aggiungeranno altre dieci, di queste super metropoli, quasi tutte in Africa e in Asia, e per quella data tre persone su cinque vivranno in città.

Già dal 2010 la popolazione urbana ha superato quella rurale, proseguendo una tendenza manifesta da secoli, perlomeno dalla Rivoluzione industriale. E in fondo non c'è nulla di cui sorprendersi, dato che la città offre più opportunità di istruzione, di lavoro, di vita sociale. D'altra parte è dal Neolitico – ovvero da quando abbiamo progressivamente abbandonato la vita nomade per stabilirci in insediamenti permanenti – che gli esseri umani tendono ad aggregarsi in comunità sempre più numerose. La crescita demografica smisurata ha fatto il resto.

Easyturn/iStock

Non è raro che chi abita nelle grandi metropoli, pur ammettendo che offrono grandi opportunità, le descriva sempre più come luoghi infernali, invivibili. Da sole, le città generano fino al 70 per cento delle emissioni globali di anidride carbonica, consumano e sprecano immense quantità di acqua e producono montagne di rifiuti, in senso letterale. Eppure le città – che già hanno l'evidente vantaggio di concentrare la popolazione in aree limitate, lasciando più spazio alla natura – potrebbero salvare noi e il pianeta. A patto che siano progettate secondo nuovi criteri urbanistici e ambientali.

Come auspica William McDonough a p. 42, le città del futuro dovranno diventare molto più efficienti nello sfruttamento di energia, acqua, minerali e risorse alimentari, imitando la circolarità dei processi naturali. Utopia? Forse. Ma alcune esperienze in corso – come Sustainability Base, il centro della NASA all'Ames Research Center, in California, e il progetto Park 20/20 di Hoofddorp, nei Paesi Bassi – stanno dimostrando che con una progettazione adeguatamente pianificata si possono integrare sistemi energetici, idrici e di gestione dei rifiuti in modo che funzionino come in un unico organismo.

In realtà, basterebbe pensare alla radicale trasformazione avvenuta a partire dagli anni settanta a Curitiba, in Brasile, dove una pianificazione visionaria ha rivoluzionato il tessuto urbano e sociale. Così oggi l'85 per cento dei cittadini di Curitiba si sposta con i mezzi pubblici, e la città ricicla il 70 per cento dei suoi rifiuti.

Perché un simile cambiamento sia possibile occorrono una visione politica forte sia centrale che locale, capacità di pianificazione a lungo termine e un significativo mutamento delle abitudini individuali, che può essere alimentato solo con efficaci modelli di istruzione per le nuove generazioni. Nel 2050 sulla Terra ci saranno 9,5 miliardi di abitanti, e il loro benessere dipende dalla nostra capacità di avviare il cambiamento il prima possibile. Il tempo stringe, ma forse non è ancora troppo tardi.

Comitato scientifico

Ritratto della creatività

A ottobre in allegato con la rivista a richiesta *Immagina*, un libro di Jonah Lehrer

Ha detto Bob Dylan a proposito della sua vena poetica: «Non so da dove vengano le mie canzoni. È come se fosse un fantasma a scriverle. Te le dà e poi scompare. E tu non sai che cosa significhino». Questo del cantautore statunitense premio Nobel per la letteratura nel 2016 è un ritratto perfetto della creatività per come è stata concepita fin dalla notte dei tempi: una sorta di dono misterioso, non di rado ricevuto per intermediazione divina, per esempio le muse dell'antica Grecia; un processo riservato agli eletti di categorie umane ben precise come artisti, inventori.

Con lo sviluppo delle neuroscienze però anche questa capacità peculiare umana è diventata meno misteriosa. Da settore di indagine esclusivo della filosofia o di ambiti spirituali, la creatività è diventata oggetto di studio delle scienze del cervello e della psicologia, come racconta Jonah Lehrer in *Immagina*, libro allegato a richiesta con «Le Scienze» di ottobre e in vendita nelle librerie per Codice Edizioni. Il capitolo di apertura è dedicato proprio alla scoperta del metodo compositivo di Dylan, seguendo il filo rosso della genesi della sua *Like a Rolling Stone* nel contesto più ampio delle conoscenze che provengono dagli studi psicologici e dell'attività cerebrale. Nei capitoli successivi, altre storie di creatività di successo. Alcuni dei personaggi fanno sempre parte della categoria degli artisti, il poeta W.H. Auden e il violoncellista Yo-Yo Ma; altri sono inventori come Dick Drew, vissuto negli anni venti del Novecento, il cui nome quasi certamente non dice nulla alla stragrande maggioranza delle persone, ma ha a che fare con un'azienda leader globale nel suo settore che attualmente vende più di 55.000 prodotti diversi, con un rapporto prodotti-dipendenti di quasi uno a uno. E poi ci sono gli *outsider*, persone ai margini dei settori a cui nel corso della vita daranno contributi fondamentali. Saperne meno a volte può essere un vantaggio per introdurre idee nuove in un vecchio settore.

La creatività però non è solo una faccenda personale. Nei capitolo finali del libro, Lehrer, autore di best seller su temi di psicologia e neuroscienze in chiave divulgativa, accompagna il lettore in esempi paradigmatici della creatività di gruppo; questa capacità è sempre più indispensabile perché ormai numerose sfide importanti per la nostra società non possono essere affrontate con l'immaginazione di singoli: le soluzioni arrivano solo se lavoriamo con altre persone. Come per la creatività individuale, anche nel caso di quella collettiva gli esempi riguardano ambiti diversi. C'è la casa cinematografica specializzata in cartoni animati di successo planetario, e ci sono gli inventori della statunitense Silicon Valley e dell'area ad alta innovazione tecnologica di Tel Aviv, in Israele.

Alla fine, il denominatore comune di tutte le storie del libro è il cervello: poco meno di un chilogrammo e mezzo di materia organica composta soprattutto da circa 100 miliardi di neuroni, da cui emerge, tra l'altro, anche la nostra capacità di immaginare idee e soluzioni grazie al lavoro concertato di numerose aree cerebrali. Perché in ognuno di noi c'è un impulso creativo che aspetta di venire alla luce, afferma Lehrer. Tutti possiamo sfruttare questa capacità di pensiero che non ha nulla di divino ma è tremendamente umana.

Peshkova/iStock

Galileo e i dinosauri in graphic novel

A settembre nuove uscite per la collana settimanale *I grandi della scienza a fumetti*

Il mese scorso avevamo annunciato la fine della collana *I grandi della scienza a fumetti* con l'ultimo numero in edicola da sabato 26 agosto. Visto però il successo, abbiamo deciso di aggiungere altri due numeri, in vendita sempre a 9,90 euro, e così diventeranno dieci le uscite della collana che unisce vecchie e nuove proposte della rivista, ovvero le monografie che in passato hanno raccontato personaggi fondamentali della storia della scienza e la serie recente di scienza a fumetti dei *manga*.

Sabato 2 settembre è la volta di *Cacciatori di ossa*, una storia raccontata da Jim Ottaviani e illustrata da Big Time Attic. La *graphic novel* è ambientata ai tempi del Far West e racconta quella che è passata alla storia come la Lotta delle Ossa tra i due paleontologi statunitensi Edward Drinker Cope e Othniel Charles Marsh, vissuti nell'età dell'oro della paleontologia. In seguito a misteriosi ritrovamenti di fossili, i due diedero inizio a una vera e propria guerra, caratterizzata da colpi bassi come sabotaggi e corruzione, pur di appropriarsi del bizzarro bottino con l'obiettivo di svelarne le origini. La lotta tra Cope e Marsh portò alla scoperta di numerose specie di dinosauro, alcune delle quali nel tempo sono diventate icone di questi animali, per esempio lo stegosauro e il triceratopo.

Il sabato successivo, il 9 settembre, in edicola c'è *Galileo Galilei*, storia a fumetti di Paolo d'Antonio. La storia è ambientata a cavallo tra il 1500 e il 1600. In questo periodo a Padova un giovane professore universitario è convinto che le leggi della natura possano essere investigate tramite la guida dei propri occhi e della propria mente, anche se queste «sensate esperienze» sono in contraddizione con quello che cultura, filosofia e religione hanno sempre sostenuto. In questa graphic novel ripercorreremo vita e opere di uno dei padri della rivoluzione scientifica tra Pisa, Padova e Firenze, con studi e invenzioni; e poi ancora il pendolo, il cannocchiale, i satelliti di Giove, le fasi di Venere, la rivoluzione copernicana, il processo, dell'Inquisizione e l'abiura.

Il volume contiene anche un saggio di Enrico Bellone, scomparso nel 2011, per molti anni direttore di «Le Scienze», professore di storia della scienza in diversi atenei italiani e uno dei massimi esperti di Galileo.

PIANO DELL'OPERA

8 LUGLIO 2017
Feynman
Una mente brillante del XX secolo

15 LUGLIO
The Imitation Game
L'enigma di Alan Turing

22 LUGLIO
Logicomix
Bertrand Russell e la ricerca della verità

29 LUGLIO
Cosmicomic
Gli uomini che scoprirono il big bang

5 AGOSTO
Trinity
La storia della prima bomba atomica

12 AGOSTO
Un pensiero abbagliante
Niels Bohr e la fisica dei quanti

19 AGOSTO
T-minus
La corsa alla Luna

26 AGOSTO
Darwin
Il padre di una teoria rivoluzionaria

2 SETTEMBRE
Cacciatori di ossa
L'età dell'oro della paleontologia

9 SETTEMBRE
Galileo Galilei
Una storia che non sta né in cielo né in terra

di Letizia Gabaglio

Dalle foto alla medicina rigenerativa

L'azienda giapponese Fujifilm leader nel campo della fotografia ha deciso di investire in un settore promettente della medicina del futuro, spiega Toshikazu Ban

Il passo potrebbe sembrare più lungo della gamba, se si passa dalla fotografia alla medicina rigenerativa. D'altronde l'avvento della fotografia digitale ha costretto chi produce pellicole ha reinventarsi, e Fujifilm lo ha fatto in maniera davvero sorprendente: puntando sul *biotech*. La svolta si deve principalmente a un ricercatore determinato e competente,Toshikazu Ban, che dopo aver lavorato a lungo nel mondo farmaceutico ha accettato la sfida di entrare in un'azienda in trasformazione. Sotto la sua guida, in soli tre anni, l'ufficio per lo sviluppo della medicina rigenerativa è diventato una divisione; e lui è oggi anche vicepresidente dell'intero gruppo. Ma qual è il legame fra le pellicole e le cellule? Lo abbiamo chiesto direttamente a lui.

In passato Fujifilm era famosa per le sue pellicole. Oggi vuole diventare leader nella medicina. Come è avvenuto il passaggio?

Già negli anni settanta la nostra azienda cominciò a lavorare sulla tecnologia digitale, riuscendo poi per prima a sviluppare una macchina fotografica interamente digitale nel 1988. In quegli anni abbiamo anche lavorato sulla digitalizzazione in campi limitrofi al nostro, come la radiografia medica. Tuttavia negli anni duemila è stato chiaro che bisognava cambiare radicalmente strategia: abbiamo guardato alla nostra tecnologia, quella che avevamo sviluppato negli anni, e capito che le nostre competenze potevano essere sfruttate in molti campi legati allo sviluppo e alla produzione di prodotti farmaceutici. Così abbiamo deciso di entrare in questa area di mercato. E poi, grazie alla tecnologia associata al collagene, che è l'ingrediente principale delle pellicole fotografiche, abbiamo capito che potevamo occuparci anche di medicina rigenerativa.

Qual è il legame fra il collagene usato nelle pellicole e la terapia a base di cellule?

Il collagene è presente sulla pellicola fotografica ma anche negli organismi viventi, nelle ossa, nei denti, nei legamenti, nella pelle. È addirittura la proteina più presente nell'organismo umano e si può ben dire che la sua funzione sia quella di tenere insieme il corpo. La medicina rigenerativa ha bisogno di strutture attorno alle quali far crescere le cellule, così a partire dalla nostra tecnologia a base di collagene abbiamo sviluppato un peptide ricombinante (RCP) che è ideale per ospitare una coltura cellulare. La nostra tecnologia è perfetta per la medicina rigenerativa: i peptidi ricombinanti Fujifilm non hanno origine animale, hanno un'alta aderenza cellulare, sono molto sicuri e biocompatibili, sono biodegradabili e bioriassorbibili.

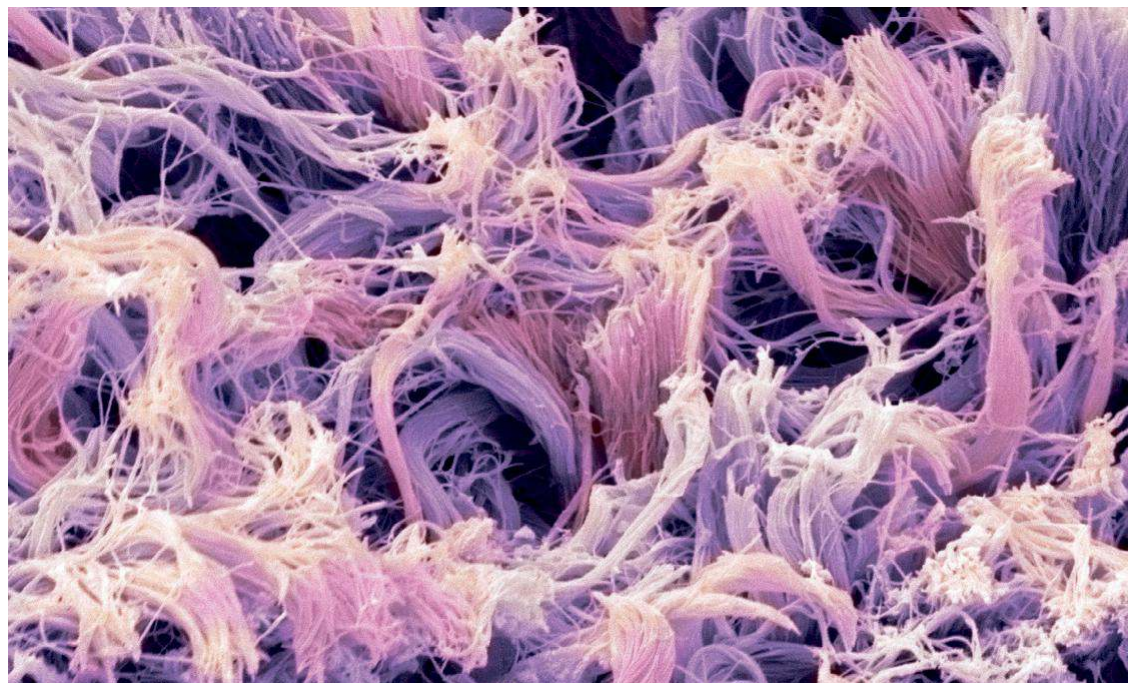
Quali sono le difficoltà principali che dovrete affrontare per affermarvi in questo mercato?

CHI È

Toshikazu Ban è laureato in farmacologia all'Università di Tokyo, presso lo stesso ateneo ottiene un Master in scienze mediche.
Subito dopo inizia a lavorare in una delle principali aziende farmaceutiche giapponesi, Takeda, dove rimane per circa 30 anni ricoprendo diverse cariche, nel settore della ricerca e in quello dello sviluppo business, sia in Giappone sia negli Stati Uniti, fino a diventare vice-presidente responsabile dello sviluppo business a livello mondiale.
Nel 2013 passa in Fujifilm dove gli viene affidato il compito di sviluppare il settore dei prodotti farmaceutici e della medicina rigenerativa. Nel giro di tre anni Ban diventa vice-presidente dell'azienda, general manager della divisione farmaceutica e responsabile della divisione di medicina rigenerativa, che oggi rappresenta una dei settori di maggior espansione di Fujifilm.

Cortesia Fuji (*Ban*); Science Photo Library RF/AGF (*contenitori con collagene*)

A oggi il mercato della medicina rigenerativa ancora non esiste. È sicuramente un'opportunità di *business* molto importante, un settore che rappresenta la medicina del futuro. Per realizzarla tuttavia dobbiamo abbassarne i costi e renderla disponibile ai pazienti. Fujifilm ha sviluppato tecnologie di produzione avanzate nel campo delle pellicole fotografiche che possono essere convertite per questo scopo riducendo allo stesso tempo i costi associati alle colture cellulari e allo sviluppo dei prodotti. Non solo possiamo farlo, ma pensiamo anche di essere gli unici in grado di poterlo fare.

staminali era non solo famosa ma anche confermata da più parti. Ne è nata subito una collaborazione nell'ambito del trial di fase II che testa efficacia e sicurezza una nostra molecola, T-817MA, nei malati di Alzheimer. Durante la sperimentazione, effettuata negli Stati Uniti e in Giappone in collaborazione con il Center for iPS Cell Research and Application dell'Università di Tokyo, ai pazienti viene prelevato un campione di sangue da cui si ricavano le cellule che, riprogrammate con la tecnica di Yamanaka, sono poi indotte a svilupparsi in neuroni sui cui, in laboratorio, si testa il farmaco.

Micro e macro. Fibre di collagene fotografate con un microscopio elettronico a scansione. Accanto, fiale di vetro con soluzione di collagene per la cura delle pelle che possono essere acquistate liberamente.

Come avete acquisito le competenze che non avevate in casa?

Il nostro obiettivo è sviluppare prodotti di medicina rigenerativa a partire da cellule somatiche, cellule staminali e iPS, le cellule pluripotenti indotte. Non solo, siamo partiti da prodotti a base di cellule autologhe e siamo arrivati a lavorare anche su cellule allogeniche, che provengono cioè da soggetti diversi da quelli che devono essere curati. Lavoriamo internamente, ma negli ultimi anni abbiamo anche stretto alleanze con aziende con competenze specifiche: nel 2014 abbiamo acquistato la maggioranza di Japan Tissue Engineering (J-TEC), la prima azienda che ha introdotto in Giappone prodotti di medicina rigenerativa. Nel 2015 abbiamo acquisito Cellular Dynamics International (CDI), leader nello sviluppo di iPS; più recentemente abbiamo acquisito Wako Pure Chemical Industries, che produce le sostanze necessarie alle colture cellulari.

Fra le vostre diverse collaborazioni spicca quella con il premio Nobel per la medicina Shinya Yamanaka, il padre delle cellule pluripotenti indotte. Qual è l'obiettivo della vostra partnership?

Abbiamo incontrato Yamanaka nel 2014, quando la sua tecnica di riprogrammazione delle cellule fino a farle ridiventare

Lo scopo è individuare un biomarcatore che ci indichi quale paziente può rispondere meglio al nostro trattamento. Negli Stati Uniti abbiamo poi altri programmi di ricerca sulle iPS: per la degenerazione maculare senile, per cui dovremmo iniziare la sperimentazione di fase I entro la fine dell'anno, per la retinite pigmentosa, per la malattia di Parkinson, per le malattie cardiovascolari e il cancro.

Quali sono le tappe future della strategia «rigenerativa»?

Come detto, vogliamo coprire tutti i possibili settori della medicina rigenerativa. Per esempio anche nel campo delle cellule allogeniche: abbiamo chiuso un accordo con Cynata Therapeutics, un'azienda australiana che sta sviluppando una terapia cellulare a base di cellule iPS allogeniche per contrastare la malattia del trapianto contro l'ospite, una complicanza che insorge quando si trapianta materiale estraneo al paziente. La sperimentazione inizierà entro la fine dell'anno e, grazie alle tecnologie presenti nel nostro Gruppo, vorremmo rendere questo e altri prodotti a base di cellule allogeniche una realtà nell'arco di cinque anni. Vogliamo diventare l'azienda leader in medicina rigenerativa e offrire così ai pazienti soluzioni a malattie che oggi non ne hanno.

di Letizia Gabaglio

Nuove evoluzioni per la rete

Athonet sviluppa sistemi avanzati per telecomunicazioni mobili utili in settori industriali altamente automatizzati e in contesti di emergenza e soccorso

Cervelli in fuga, cervelli di ritorno, *import-export* di eccellenze scientifiche. Il tema dei ricercatori italiani che vanno all'estero e non fanno più ritorno è stato sviscerato ormai da molti anni. L'attenzione è però quasi sempre puntata sull'accademia mentre raramente si parla di ricerca applicata, di cervelli che avrebbero potuto creare aziende, o di talenti manageriali in fuga o di ritorno. La storia di Athonet, invece, è proprio quella di due ingegneri che, dopo alcune esperienze all'estero lavorando per multinazionali delle telecomunicazioni, hanno deciso di ritornare in Italia e fondare un'azienda nell'Area Science Park di Trieste.

Gianluca Verin e Karim El Malki all'inizio degli anni duemila maturarono la convinzione che le reti mobili di comunicazioni, per come erano state progettate e costruite fino a quel momento, non avrebbero potuto rispondere all'evoluzione che si sarebbe avuta da lì a qualche anno: erano state costruite pensando alle telefonate, non certo alla possibilità di guardare film o condividere contenuti multimediali sui *social*. E se già oggi queste attività rappresentano la maggior parte del traffico dati che viaggia lungo le reti, molto di più lo sarà in futuro. Insomma, già vent'anni fa era chiaro che le vecchie infrastrutture non avrebbero sopportato il peso dei dati, ma non tutti erano pronti a scommettere su una nuovo tipo di rete mobile strutturalmente diversa.

«La visione di evoluzione architetturale delle reti ipotizzata ai tempi da Gianluca e Karim era in antitesi con quella dei colossi delle telecomunicazioni e questo li ha costretti a fare da soli», spiega Stefano Cocco, responsabile commerciale di Athonet, l'azienda che nel 2005 i due ingegneri fondano a Trieste. «E di fare in Italia, dove è vero che ci sono meno finanziamenti per chi vuole mettersi in proprio, ma si possono trovare eccellenze scientifiche a un costo ragionevole». Verin ha studiato a Padova ed è proprio al suo ateneo che si rivolge alla ricerca di ingegneri capaci di dare forma alla sua idea partendo da zero.

Da due a quaranta

Ma facciamo un passo indietro: che cosa non funzionava nella struttura delle reti? «La struttura era formata da un nodo centrale, di solito una serie imponente di *server* messi uno vicino all'altro, che si collega a una rete di stazioni radio distribuite sul territorio», spiega Cocco. «Un disegno che penalizza la crescita del traffico dati perché le informazioni devono transitare avanti e indietro per la rete: se voglio inviare un filmato a una persona che è a 100 metri da me, il pacchetto dati parte dalla mia posizione, può percorrere centinaia di chilometri fino al server centrale, per poi tornare indietro e arrivare di nuovo vicino a me». Al crescere del traffico, le reti così costruite intasano i nodi centrali che da soli devono reggere il traffico totale della rete.

Ecco allora l'idea di Verin ed El Malki: passare da reti basate

Cervelli di ritorno. I due fondatori di Athonet, El Malki (*sinistra*) e Verin. A fronte in alto, sperimentazione dell'azienda telefonica britannica EE basata anche su tecnologia Athonet; in basso, un drone usato da Athonet per reti di comunicazione distribuite.

Cortesia Athonet

Cortesia Athonet (*in alto*); cortesia EE (*al centro*)

prevalentemente sull'*hardware* – i grandi server - a soluzione *software*, e poi fare in modo che l'intelligenza non sia più centralizzata ma distribuita, vicina alle stazioni radio, in prossimità dell'utente finale. Un'idea che è diventata realtà dopo sei anni di lavoro di ricerca sviluppando tutto il software in casa, in modo da avere il controllo completo sul prodotto finale e poter competere con le grandi aziende.

«Il nostro vantaggio competitivo rispetto a grandi realtà, da Nokia a Huawei a Ericsson, sono la competitività dei prezzi associata alla flessibilità e la capacità di innovare più velocemente», va avanti Cocco. «Gli altri impongono le loro soluzioni al mercato, noi cerchiamo di creare soluzioni che rispondano ai reali requisiti dei clienti e con meccanismi di interfaccia per integrare o adattare i nostri prodotti a quello che c'è già». Questa strategia permette ad Athonet di lavorare sia in paesi tecnologicamente all'avanguardia sia nei paesi emergenti, in Africa e in Asia, dove piccoli operatori vogliono cominciare a coprire una zona limitata di territorio per poi espandersi piano piano affrontando un investimento commisurato alle proprie possibilità. Il successo di Athonet si misura facilmente: nel 2005 erano in due, oggi sono una quarantina e i loro prodotti si vendono in tutto il mondo, dagli Stati Uniti all'Australia.

Una rete di trasmissione dati efficiente e sicura è una necessità sempre più sentita a tutti i livelli: dalle industrie altamente automatizzate alle aziende che operano nei servizi energetici, dai corpi militari alla pubblica sicurezza e protezione civile. Il valore aggiunto della tecnologia Athonet, però, balza agli occhi quando parliamo di emergenza e soccorsi: nel 2012, in occasione del terremoto che ha colpito l'Emilia-Romagna l'azienda ha portato nelle zone disastrate la sua tecnologia, permettendo agli operatori della Protezione civile di comunicare anche quando le reti nazionali erano saltate. «In questi casi più che la voce è importante che dal centro operativo possano vedere le immagini trasmesse dalle telecamere indossate dagli operatori», sottolinea Cocco. «Così si può capire subito la situazione e agire in modo tempestivo».

Sempre sul fronte del soccorso, Athonet porta avanti due sperimentazioni: una nelle zone alpine della Lombardia per consentire alle autoambulanze di essere collegate agli ospedali anche in zone dove non c'è copertura e inviare dati vitali per la salute dei pazienti; la seconda in Regno Unito per dotare i droni di una rete completa in modo da creare un cono di comunicazione nella zona sorvolata dal velivolo. «In questo modo le persone che sono sotto la copertura del drone possono comunicare le une con le altre e anche con il velivolo», spiega Cocco. «Un servizio utile durante le operazioni di salvataggio in mezzo al mare o in montagna in caso di slavina».

Più in generale è evidente che prodotti come quelli di Athonet potrebbero colmare, anche in Italia, il cosiddetto *digital divide*, la non uniformità dei servizi di copertura di rete sul territorio. Ma qui il discorso si fa più complicato, perché la banda è tutta assegnata, anche se in futuro le cose potrebbero cambiare. Quelli di Athonet però sanno che devono continuare a innovare e correre più della concorrenza in attesa che i tempi cambino, l'evoluzione 5G è alle porte e guarda caso è proprio quello che Gianluca e Karim avevano immaginato.

di Elena Castellani
professore associato, Dipartimento di filosofia,
Università di Firenze

La filosofia del «bootstrap»

Corsi e ricorsi di un'idea controversa ma feconda nella storia recente della fisica

La fisica degli anni sessanta ha notoriamente fornito le basi per la formulazione del modello standard delle particelle elementari, inclusa la previsione dell'ormai famoso bosone di Higgs. Ma ha anche regalato idee, tecniche e metodologie che, per quanto assai meno conosciute soprattutto dal grande pubblico, hanno dimostrato sorprendente fecondità: sia per gli sviluppi a cui hanno dato origine sia per il loro riproporsi anche congiuntamente e in ambiti a volte molto diversi da quelli originari. Un valzer delle idee, si potrebbe dire, particolarmente affascinante proprio per le fruttuose connessioni tra campi diversi che ne sono seguite, e che ben esemplifica come si sviluppa il lavoro teorico nella descrizione del mondo naturale.

Le nozioni in questione sono quelle di «*bootstrap*», «dualità», «universalità», «simmetria conforme», «gruppo di rinormalizzazione», e potremmo ancora continuare con l'elenco. Si tratta di ingredienti teorici fondamentali per chi oggi lavora non solo nella fisica fondamentale, cioè la fisica che si occupa dei costituenti microscopici della materia, ma anche nella fisica degli stati formati da un gran numero di questi costituenti, dal mesoscopico al macroscopico (quella che si usa chiamare «fisica dello stato solido» o «fisica della materia condensata»). Sono nozioni complesse e di carattere tecnico, ma la storia dei loro intrecci è molto suggestiva e se ne può dare un'idea, per quanto approssimativa, accennando agli sviluppi della «filosofia del bootstrap»: un'espressione usata per indicare l'approccio teorico basato sulla nozione di bootstrap (letteralmente: lacci di scarpone).

Da solido a liquido. Un ambito del programma bootstrap permette di trattare l'universalità delle transizioni di fase.

L'idea di fondo del bootstrap è una struttura auto-consistente di particelle o, nella versione più recente, di teorie, che si «auto-genera» (da cui l'uso di «bootstrap», il cui senso figurato è alzarsi tirandosi per i lacci delle proprie scarpe). Nel contesto della fisica delle particelle degli anni sessanta l'idea fu usata in modo programmatico dal fisico Geoffrey Chew e collaboratori in una serie di lavori. Del bootstrap «adronico» di Chew (adronico, perché riguardava le particelle che interagiscono in modo «forte», dette «adroni», come protoni e neutroni del nucleo atomico) e delle sue motivazioni e valenze ontologiche (come il principio di «democrazia nucleare», per cui nessun adrone è più fondamentale degli altri), si è già parlato a marzo 2011. Si trattava di un programma antifondamentalista, che venne definitivamente messo in crisi con l'affermarsi della teoria quantistica dei campi per le interazioni forti (la cosiddetta cromodinamica quantistica), basata sull'individuazione dei quark come particelle elementari del mondo adronico.

Il fallimento del programma antifondamentalista non implicò però la morte dell'idea del bootstrap. Già negli ultimi anni sessanta era emersa una connessione significativa tra il bootstrap e la prima delle diverse dualità che sarebbero poi diventate così importanti nella teoria delle stringhe. Si trattava di un caso particolare della connessione che fu poi stabilita tra il bootstrap e una categoria di simmetrie, le «simmetrie conformi» (di cui la forma più familiare è l'invarianza per trasformazioni di scala). E qui entra in gioco un ulteriore collegamento: la possibilità di trattare nell'ambito di questa nuova fase del programma di bootstrap, noto appunto come «bootstrap conforme», il fenomeno apparentemente misterioso della «universalità» nelle transizioni di fase (per esempio, dallo stato solido allo stato liquido o dallo stato liquido allo stato gassoso): il fatto che materiali diversi come acqua o ferro manifestino comportamenti simili in quei «punti critici» in cui subiscono variazioni di fase. Fu proprio l'aver compreso, nelle situazioni in gioco in questi casi, il nesso tra simmetria conforme e universalità di comportamento a dare l'impulso allo sviluppo del bootstrap conforme: dai lavori seminali del fisico russo Aleksander Polyakov tra gli anni settanta e primi anni ottanta per i modelli bi-dimensionali, al recente rifiorire del programma di bootstrap grazie alla generalizzazione, con nuove tecniche, a modelli a tre o più dimensioni.

Un giro di idee e fiorire di metodologie che dimostra, una volta ancora, come sia dannoso allo sviluppo scientifico il limitarsi ideologicamente a difendere un solo approccio, senza comprendere come, in programmi che apparentemente sembrano essere falliti o per qualche motivo non corrispondere alle promesse iniziali, possano invece risiedere risorse molto preziose.

tomch/iStock

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Intelligenza e longevità

Avere «buoni» geni aiuta in molte cose, anche ben diverse come salute e ingegno

Che cosa è l'intelligenza? E da che cosa dipende se una persona è più o meno intelligente? Come si rapporta questa dote con la salute complessiva di un essere umano? E con la sua longevità? Si tratta di domande molto interessanti e di grande respiro che sono state avanzate spesso, con la novità, qui, della longevità inclusa nel gruppo. Vorrei parlare di tutto questo partendo da un articolo pubblicato sul «Financial Times». È sempre una pessima idea partire da articoli pubblicati da quotidiani, anche prestigiosi, invece che da riviste scientifiche, ma i giornali italiani lo fanno spesso. Voglio parlare di questo argomento perché, anche se i dati che lo sostengono non si dimostrassero a prova di bomba, permette comunque di fare discorsi un po' inconsueti, soprattutto nel nostro paese.

Di che cosa si tratta? Un gruppo di epidemiologi dell'Università di Edimburgo ha analizzato criticamente i dati forniti da una sorta di censimento del 1947 fatto in Scozia sull'intelligenza dei ragazzi dell'ultimo anno delle elementari, usando i test per determinare il quoziente intellettivo (QI). I dati hanno confermato ricerche precedenti che sostenevano una correlazione fra longevità e intelligenza (il ricercatore neozelandese James Flynn aveva già usato i risultati dei test del QI nelle scuole per dimostrare che l'intelligenza media dei giovani stava aumentando, grazie alla migliore salute e all'alimentazione più equilibrata).

Tutte le nostre caratteristiche derivano da una componente genetica e una non genetica.

Tuttavia, per valutare l'effetto sulla mortalità, gli studiosi scozzesi hanno incrociato il valore del QI nel 1947 su 33.536 ragazzi e 32.229 ragazze nati nel 1936, con i tassi e le cause di morte registrati tra le stesse persone nel 2015. Risultato? I bambini più intelligenti del 1947 erano davvero andati incontro a un rischio di morte assai inferiore rispetto quello dei compagni meno dotati. I ricercatori hanno scoperto che la maggiore intelligenza portava a un rischio inferiore del 28 per cento di morte per malattie respiratorie, del 25 per malattie delle coronarie e del 24 per ictus. I più intelligenti fra i nati nel 1936 sono arrivati in maggior percentuale al 2015.

Nonostante le notizie riportate, l'articolo trasuda scetticismo da tutti i pori: gli autori non si trovano a loro agio con il concetto di intelligenza, specialmente se misurato con il QI: non credono che questa possa essere determinata dai geni e non credono che la longevità sia determinata dai geni. Tanto è vero che si affrettano ad aggiungere che molti di costoro erano stati effettivamente più alla larga da tabacco e sigarette. Ma comunque la notizia la riportano, spero esatta.

Colgo l'occasione per chiarire un paio di punti, correlati fra di loro. Praticamente tutte le nostre caratteristiche derivano da una componente genetica e una non genetica. Alla componente genetica possono contribuire un gene, due geni o più geni. Alla componente genetica dell'intelligenza, qualunque cosa ciò possa significare, contribuiscono praticamente tutti i nostri geni. Come faccio a dirlo? Per almeno due motivi. Innanzitutto, quasi tutti i nostri geni sono attivi nel tessuto cerebrale, mentre in tutti gli altri tessuti ne è attiva solo una parte, variabile da tessuto a tessuto. Inoltre, quasi ogni aberrazione cromosomica ereditaria associa una certa forma di ritardo mentale al danno genetico più specifico di quella aberrazione. Tutti i nostri geni contribuiscono quindi alla componente genetica della nostra intelligenza o, almeno, del nostro quoziente intellettivo. Una persona discretamente intelligente possiede quindi probabilmente molti buoni geni. E la longevità? Anche qui ci sarà una componente genetica e una non genetica. Nonostante i frequenti annunci dell'individuazione di questo o quel gene indicato come possibile responsabile diretto della longevità di certi individui, è molto probabile che in media la longevità dipenda dallo stato di tutti o quasi tutti i nostri geni.

Si tratta ovviamente di osservazioni effettuate su un gran numero di individui, dunque non è detto che siano applicabili a casi singoli, ma è certo che avere geni buoni aiuta in molte cose, anche molto diverse come la salute e la bellezza. Si tratta chiaramente di un'ingiustizia, ma non è la sola. E in buona parte il difetto si può compensare.

kamisoka/iStock

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

La bicicletta a ruote quadrate

La protagonista degli esami di maturità può essere utile più di quanto si pensi

La bicicletta a ruote quadrate, sulla quale hanno dovuto pedalare i maturandi di quest'anno nella prova di matematica, è una metafora di come si possano affrontare al meglio le avversità della vita. È ovvio, infatti, che su una strada pianeggiante le ruote rotonde sono ottimali. Ma quando si va fuori strada e si affrontano terreni impervi, cessano di esserlo: per questo si sono inventati i rampichini, che hanno ruote rotonde ma gomme per niente lisce, proprio per avere miglior presa sul terreno. E, in ogni caso, fuori strada si balla anche sul rampichino.

La cosa è divertente se si fa *ciclocross*. Ma lo è meno, per esempio, se si devono far rotolare enormi e pesantissimi pilastri di pietra a sezione quadrata per portarli a destinazione in un tempio, come dovevano fare gli Egizi, con il rischio di lasciarci sotto le dita: se non le loro, almeno quelle dei loro schiavi. Già essi scoprirono che era molto più agevole trasportare i pilastri se si pavimentava la strada con un tappeto di tronchi di legno tagliati in quattro e allineati a spicchi, a formare una sequenza di dossi.

Ottima per i dossi. Una bici con ruote quadrate è utile su superfici composte da sequenze di dossi, assai più di una con ruote rotonde.

La soluzione è ingegnosa, ma non è ottimale. Da un punto di vista matematico, il problema da risolvere consiste nell'immaginarsi di avere appunto una ruota quadrata, corrispondente alla sezione orizzontale del pilastro, e nel trovare la forma curva che devono avere i dossi per far girare al meglio la ruota.

Affinché la ruota giri senza saltellare o strisciare sul dosso, i punti della ruota e quelli del dosso devono essere messi in corrispondenza biunivoca dal moto: cioè, la lunghezza di un dosso dev'essere uguale a un lato della ruota quadrata. Questo determina la lunghezza dell'arco di curva, ma non ancora la sua forma.

Si può però richiedere che il (bari)centro del quadrato stia sempre sulla verticale del punto di contatto con la curva. In questo caso in ogni punto del dosso la ruota esercita sempre la stessa pressione, e questa è esattamente la definizione di una catenaria invertita: cioè, di una curva in cui si dispone automaticamente una catena omogenea appesa agli estremi sotto l'effetto del suo peso, che è appunto uguale in ogni punto. Questo determina la forma dell'arco di curva, ma non ancora la sua ampiezza: cioè, quanto devono distare i suoi estremi fra loro.

È però naturale richiedere che nei punti di connessione fra due dossi consecutivi la ruota si incastri verticalmente con un vertice: cioè, che i due lati incidenti siano tangenti ai due dossi. Questo significa che la tangente nei punti estremi dei dossi dev'essere inclinata a 45 gradi. O, equivalentemente, che due dossi consecutivi devono incontrarsi ad angolo retto, come i lati del quadrato.

Una volta capito il trucco, si può risolvere il problema anche per ruote poligonali regolari con qualunque numero di lati superiore a quattro. La lunghezza del dosso deve sempre essere uguale al lato, e la distanza fra i punti estremi a cui appendere una catena di quella lunghezza è determinata dal fatto che la tangente negli estremi dev'essere inclinata di un angolo complementare a metà di quello del poligono: per esempio, 36 gradi per un pentagono, 30 per un esagono, circa 26 per un ettagono e così via.

Il caso della ruota circolare non è che il caso limite di un poligono con infiniti lati, e angoli di 180 gradi: cioè, di una catena tesa rettilineamente fra gli estremi. In altre parole, il terreno ottimale da percorrere con biciclette a ruote rotonde è piano. O, se si preferisce, è una successione di dossi infinitesimi piatti.

Naturalmente il problema delle ruote quadrate si può risolvere anche in maniera analitica, oltre che geometrica. In tal caso lo si riformula in un'equazione differenziale che risulta avere come soluzione la curva $(e^x + e^{-x})/2$: cioè, appunto, la catenaria. Una curva che gli Egizi approssimarono come un cerchio, nella loro soluzione intuitiva del problema. Che Galileo credette essere una parabola. E che in seguito si scoprì essere invece un coseno iperbolico: cioè, l'analogo per l'iperbole di ciò che il coseno è per il cerchio.

Oggi, più che per i dossi per bici a ruote quadrate o poligonali, la catenaria è usata per costruire ponti sospesi, guglie come quelle della Sagrada Familia di Antonio Gaudí a Barcellona, o archi come il Gateway di Eero Saarinen a San Louis. E si rivela dunque essere uno strumento molto sofisticato, e per nulla futile, dell'architettura moderna.

Tang Yan Song/Shutterstock

di Amedeo Balbi
Professore associato di astronomia e astrofisica presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma «Tor Vergata». Il suo ultimo libro è *Dove sono tutti quanti?* (Rizzoli, 2016)

Il Gran Finale di Cassini

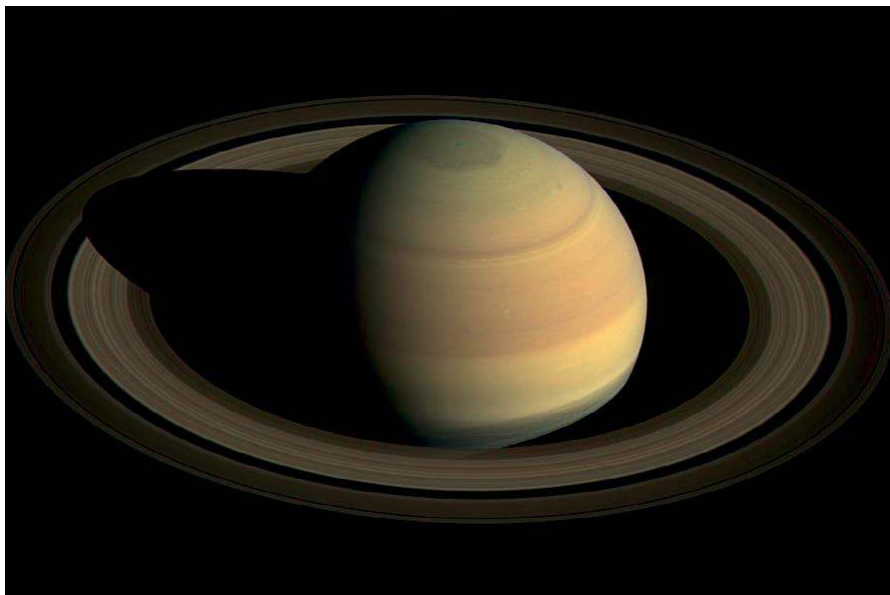
Questo mese la sonda conclude la sua missione tuffandosi nell'atmosfera di Saturno

Mancano pochi giorni alla conclusione della missione Cassini, anzi, al «Gran Finale», come è stato ribattezzato lo spettacolare tuffo nell'atmosfera di Saturno che la sonda effettuerà il 15 settembre. Un'uscita di scena all'altezza della storia della missione, lanciata ormai vent'anni fa ed entrata nel vivo a cavallo tra il 2004 e il 2005, con la straordinaria discesa del *lander* Huygens sulla superficie di Titano.

Già quell'impresa basterebbe a dare a Cassini un posto nella leggenda dell'esplorazione spaziale, e non solo per la difficoltà tecnica di atterrare dolcemente su un mondo alieno a oltre un miliardo di chilometri dalla Terra, ma per quello che Huygens ci ha mostrato del satellite naturale principale di Saturno: un vero e proprio mondo, avvolto da una spessa atmosfera e coperto da mari e laghi composti da idrocarburi. L'unico posto che conosciamo, a parte il nostro pianeta, dove una superficie solida interagisce con gas e liquidi.

Negli anni successivi, Cassini ha mostrato che Titano non è solo sede di fenomeni climatici e probabilmente di un ciclo del metano analogo al ciclo dell'acqua sul nostro pianeta, ma è un vero e proprio laboratorio chimico su scala planetaria, dove avvengono reazioni che potrebbero somigliare parecchio a quelle che, sulla Terra primordiale, hanno trasformato semplici composti del carbonio in molecole organiche complesse: i mattoni da cui hanno avuto origine i primi organismi viventi. Le ultime prove sull'importanza dello studio di Titano per la comprensione di alcuni dei meccanismi che potrebbero aver portato alla comparsa della vita sono arrivate proprio di recente, con uno studio pubblicato ad agosto da Ravindra T. Desai dello University College London e colleghi su «The Astrophysical Journal Letters». Analizzando i dati di Cassini, i ricercatori hanno trovato la prova del fatto che nell'atmosfera di Titano avvengono processi che portano ad assemblare molecole organiche a partire da mattoni più semplici. Processi del genere potrebbero quindi essere comuni in ambienti planetari con una composizione atmosferica che è simile a quella della Terra primordiale.

L'altro grande successo di Cassini, da questo punto di vista, è stata la sorprendente scoperta che la luna ghiacciata Encelado è più adatta a ospitare organismi viventi di quello che chiunque avrebbe immaginato. Grazie a Cassini, sappiamo non solo che Encelado nasconde un oceano di acqua liquida sotto la sua superficie, ma che sui fondali di questo oceano potrebbe persino esserci attività idrotermale.

La prova è stata raccolta grazie a un'altra impresa mica male, un fuori programma che nessuno aveva immaginato in fase di progettazione: il passaggio di Cassini attraverso uno dei geyser che la sonda ha scoperto eruttare da una frattura nella crosta ghiacciata. Analizzando quei dati, J. Hunter Waite dello statunitense Southwest Research Institute e colleghi hanno scoperto tracce di idrogeno molecolare nel vapore proveniente dall'oceano subglaciale. Come illustrato su «Science», questo potrebbe segnalare l'esistenza di bocche vulcaniche sottomarine e quindi, potenzialmente, di energia in grado di alimentare il metabolismo di eventuali organismi viventi.

Vista settentrionale. L'emisfero nord di Saturno in un'immagine ottenuta dalla sonda Cassini il 25 aprile 2016 a una distanza di tre milioni di chilometri dal pianeta.

Cortesia NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute

Ed è proprio quello che Cassini ha scoperto in questi anni a giustificarne almeno in parte il destino rocambolesco. Dietro la decisione di portare la sonda a disintegrarsi nell'atmosfera di Saturno, infatti, non c'è solo la speranza di raccogliere, durante la discesa, dati scientifici che non sarebbe stato possibile ottenere altrimenti, ma anche la necessità di evitare la possibile contaminazione di alcuni degli ambienti più promettenti per la ricerca di vita fuori dalla Terra.

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Un incontro inaspettato

Dal nostro DNA sono emersi indizi di un incrocio con ominidi ancora sconosciuti

Ancora una volta è stata registrata l'introgressione di una piccola porzione di DNA arcaico nel nostro genoma. Ci sarebbe stata trasmessa per ibridazione da una specie umana arcaica. A documentarlo è la saliva; sì, la saliva di 2500 nostri conspecifici e contemporanei. Inoltre, questa volta l'ibridazione con *Homo sapiens* non avrebbe riguardato né i Neanderthal né i Denisoviani, ma una misteriosa specie dalle origini antichissime; e ancora: l'ibridazione non sarebbe avvenuta in Eurasia, ma nell'Africa subsahariana.

A scoprirlo sono stati alcuni ricercatori dell'Università di Buffalo, nello Stato di New York. È stato un caso, come si dice, di *serendipity*. Omer Gokcumen e collaboratori erano alla ricerca di altro. Stavano studiando MUC7, una gicoproteina della saliva che si lega ai microbi e che sembrerebbe servire a liberare la bocca da quei batteri che possono generare malattie, contribuendo alla buona efficienza di masticazione, deglutizione e addirittura del linguaggio.

In alcune persone, il gene che codifica per MUC7 contiene sei copie di istruzioni genetiche (i cosiddetti *tandem repeats*) che codificano per differenti parti della proteina corrispondente; altri individui ne hanno invece solo cinque. Studi effettuati in passato da altri ricercatori avevano indicato che la versione a cinque copie del gene darebbe una protezione dall'asma, tuttavia gli autori del nuovo studio non hanno osservato una simile associazione. In seguito all'analisi dettagliata su campioni biologici provenienti da 130 persone, Gokcumen e colleghi erano arrivati piuttosto alla conclusione che MUC7 influenzi il microbioma orale, ovvero l'insieme dei batteri che si trovano all'interno del cavo orale, visto che le differenti versioni del gene risultano associate a diverse composizioni microbiologiche. La proteina MUC7 migliorerebbe dunque la capacità della saliva di legarsi ai microbi; un compito importante che può aiutare a prevenire le malattie, eliminando dalla bocca i batteri indesiderati e altri agenti patogeni.

Come parte di questa linea di ricerca, Gokcumen e colleghi hanno allora esaminato il gene *MUC7* in più di 2500 genomi umani attuali. L'analisi, pubblicata su «Molecular Biology and Evolution», ha restituito un dato sorprendente: nella storia del gene c'è traccia di un'ibridazione antica, rimasta solo in alcune popolazioni sub-sahariane, poiché solo queste hanno una versione del gene che è profondamente diversa da quelle di tutti gli altri esseri umani. La variante sub-sahariana è risultata tanto «arcaica» che, in confronto, le varianti del gene *MUC7* dei Neanderthal e dei Denisoviani si confondono con quelle moderne. Gli autori hanno concluso che la spiegazione più plausibile di questa estrema variazione sia un'introgressione arcaica, introdottasi nel genoma di quelle popolazioni africane a seguito dell'ibridazione con una specie di ominidi che, prudentemente, hanno denominato «specie fantasma». Non solo: hanno calcolato che l'ibridazione sarebbe avvenuta in un'epoca prossima a 150.000 anni fa e, soprattutto, che la separazione evolutiva fra *Homo sapiens* e l'ipotetica specie arcaica debba risalire a più di 1,5 milioni di anni fa.

Antiche differenze. Le tracce di un'antica ibridazione tra *H. sapiens* e una specie umana tuttora ignota sono state rilevate solo in popolazioni attuali dell'Africa sub-sahariana.

g-stockstudio/iStock

«Sembra di poter dire che nel Pleistocene le ibridazioni fra differenti specie umane non siano state l'eccezione, ma la norma» conclude dunque Gokcumen. E io aggiungo: non sarà che la specie fantasma di cui si parla sia *Homo naledi*, la nuova specie dalle caratteristiche arcaiche scoperta in Sudafrica, le cui origini probabilmente risalgono proprio a 1,5 milioni di anni fa (come la morfologia ci suggerisce) e che sarebbe sopravvissuta così a lungo (come le recenti datazioni documentano) fino a potersi incontrare con i primi rappresentanti di *Homo sapiens* o con i loro diretti antenati?

CAMBIAMENTO CLIMATICO

Il caldo futuro della Terra

Entro il 2100 la temperatura media potrebbe aumentare ben oltre la soglia di 2°C

A rischio sul fiordo. Il villaggio Uummannaq, su un fiordo della Groenlandia. L'Artico è una delle regioni della Terra più sensibili al riscaldamento globale, che molto probabilmente entro la fine di questo secolo supererà il valore limite di due gradi Celsius stabilito dagli accordi di Parigi del 2016.

Arterra/UIG via Getty Images

È quasi certo: entro la fine del secolo la Terra sarà più calda di quanto auspicato dalla Conferenza delle parti sui cambiamenti climatici tenutasi a Parigi a dicembre 2016. Secondo uno studio pubblicato su «Nature Climate Change» da ricercatori dell'Università di Washington a Seattle e dell'Università della California a Santa Barbara, la probabilità che l'aumento di temperatura nel 2100 si attesti al di sotto dei 2°C è del cinque per cento, mentre il rispetto degli 1,5°C è dato appena all'uno per cento.

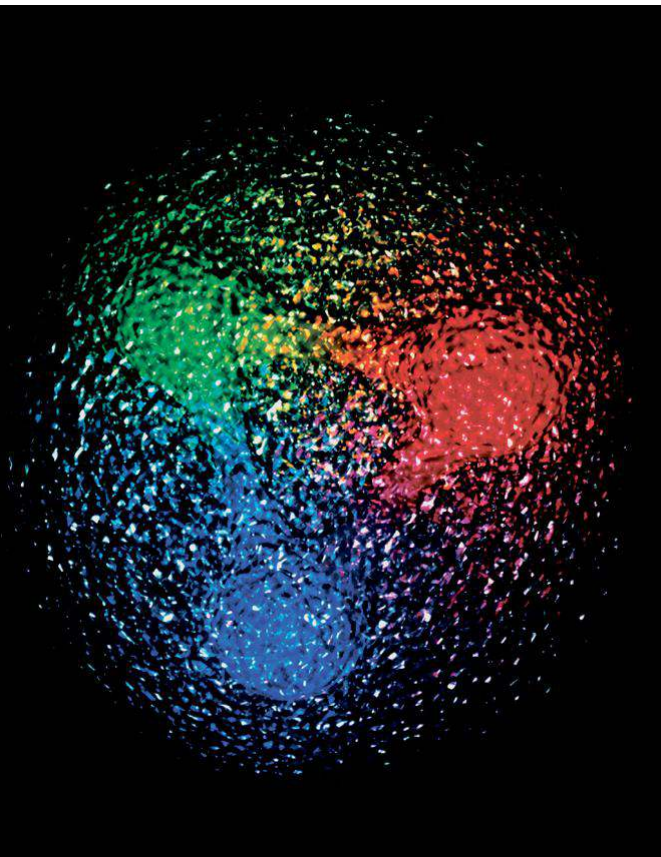
Ritenuto insoddisfacente l'approccio a scenari adottato dall'Intergovernmental Panel on Climate Change, impostato su quattro ipotetici modelli di sviluppo, gli autori hanno elaborato un'analisi statistica differente. Considerati gli indicatori socioeconomici delle Nazioni Unite relativi al periodo 1960-2010, il modello dei ricercatori statunitensi ha stimato la futura quantità di emissioni dei singoli paesi. Per calcolarla, i ricercatori hanno espresso il totale delle emissioni di gas serra per ciascun paese come il prodotto di tre fattori: popolazione, prodotto interno lordo pro capite e intensità di carbonio, cioè la quantità di anidride carbonica emessa per unità di prodotto interno lordo (PIL). Sommando i contributi delle singole nazioni, i risultati restituiscono un valore mediano di 3,2°C nell'incremento della temperatura: le probabilità che il riscaldamento globale a fine secolo sia compreso tra 2°C e 4,9°C sono del 90 per cento. Dei tre fattori considerati, l'incremento demografico è risultato quello di minore impatto: nonostante le proiezioni indichino che nel 2100 la popolazione mondiale supererà verosimilmente gli 11 miliardi, esso si verificherà principalmente in Africa dove il consumo di fonti fossili è limitato.

Secondo gli autori, il fattore che più influirà sulle proiezioni future è l'intensità di carbonio. Se negli ultimi decenni la maggiore efficienza energetica e le politiche di riduzione delle emissioni ne hanno permesso la diminuzione, la rapidità del processo su scala globale sarà cruciale per contrastare il cambiamento climatico. «La nostra analisi dimostra che un aumento di 2°C è la prospettiva di gran lunga più ottimistica. È un traguardo raggiungibile solo se nei prossimi ottant'anni tutte le parti in causa adotteranno misure più stringenti», commenta Adrian Raftery, professore di statistica all'Università di Washington e primo autore dello studio. Se così non fosse, l'impegno a mantenere l'incremento della temperatura globale «ben al di sotto dei 2° C rispetto ai livelli preindustriali», sottolineato anche alla conferenza di Parigi, potrebbe essere ben presto corretto al rialzo, accettando che eventi oggi ritenuti al limite della naturale variabilità climatica diventino la consuetudine.

Davide Michielin

FISICA

L'inaspettata leggerezza del protone

Nuove misurazioni di precisione hanno trovato una massa più piccola rispetto a quella attesa

Il protone è più leggero di quanto si pensasse. A sostenerlo è un gruppo guidato da Sven Sturm, del Max-Planck-Institut für Kernphysik, di Heidelberg, in Germania, che ha presentato i risultati di una nuova misurazione di precisione su «Physical Review Letters».

Come descritto nell'articolo con primo autore Fabian Heiße, collega di Sturm, i ricercatori hanno trovato un valore della massa del protone inferiore a quello riportato nelle tabelle ufficiali del CODATA (Committee on Data for Science and Technology), il gruppo internazionale che raccoglie e periodicamente pubblica le misure delle grandezze fisiche fondamentali impiegate poi come valori standard. Il dato di Sturm e colleghi, oltre a essere tre volte più preciso rispetto ai valori ottenuti con precedenti misurazioni – l'errore sulla massa del protone è ora ridotto a 32 parti su 1000 miliardi! – è anche distante in maniera significativa dal valore medio riportato dal CODATA. Dovrà quindi essere confermato da altre misurazioni.

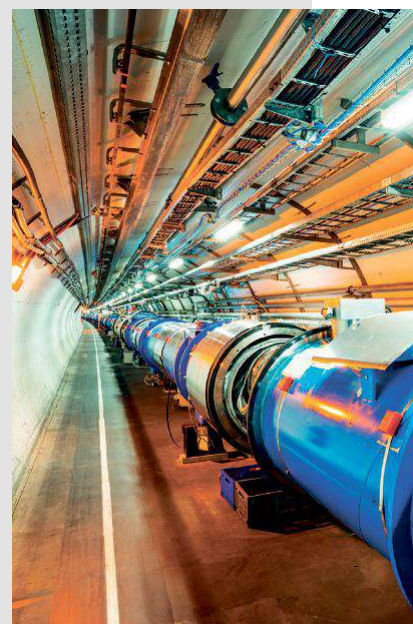
Per arrivare a questo importante risultato, Sturm e collaboratori hanno impiegato una trappola di Penning. Questa trappola ionica sfrutta l'azione combinata di campi elettrici e campi magnetici per costringere il protone (o qualunque altra particella carica) lungo traiettorie definite e determinare così una particolare frequenza, detta di ciclotrone, che dipende dal rapporto fra carica elettrica e massa del protone. Questo parametro è poi confrontato con quello ottenuto impiegando uno ione di una specie atomica di riferimento, di cui sia già nota la massa. Nel loro esperimento Sturm e colleghi hanno impiegato il carbonio-12, cioè carbonio a cui sono stati strappati tutti gli elettroni, quindi ionizzato sei volte positivamente.

Per ottenere questa misurazione di altissima precisione, i ricercatori hanno modificato l'apparato sperimentale per ridurne il rumore e aumentarne la sensibilità. Le conseguenze di questo risultato sono ancora tutte da scoprire, ma c'è già chi ipotizza che possa contribuire a spiegare l'asimmetria cosmica fra materia e antimateria.

Emiliano Ricci

La scoperta del barione Xi

Una nuova particella composta da due quark pesanti e uno leggero: è questa l'ultima scoperta dei ricercatori della collaborazione LHCb, che opera sui dati raccolti dalle collisioni che avvengono all'interno del Large Hadron Collider (LHC) del CERN di Ginevra, in Svizzera. La nuova particella, annunciata durante la conferenza della European Physical Society (EPS) sulla fisica delle alte energie, che si è svolta a Venezia lo scorso luglio, si chiama Xi ed è, per il momento, il barione più pesante che si conosca. I fisici classificano come barioni tutte le particelle composte da tre quark. Anche protoni e neutroni sono barioni, essendo i primi composti da due quark «up» e un quark «down» e i secondi da due quark «down» e un quark «up». Ma i quark «up» e quelli «down» sono i più leggeri dei sei tipi di quark conosciuti. Tutti gli altri sono più massicci.
Fino a oggi, i barioni più pesanti noti contenevano due quark leggeri e uno pesante. La particella Xi è invece la prima a contenere due quark pesanti di tipo «charm» e un quark «up». Così, oltre ad avere una carica elettrica positiva pari a due volte quella del protone, ha anche una massa quattro volte superiore. La scoperta, che sarà descritta su «Physical Review Letters», arriva quindi cinque anni dopo quella del bosone di Higgs, anni durante i quali i fisici di LHC hanno continuato a produrre collisioni ad altissima energia e a raccogliere dati che, finora, confermano senza riserve la validità del modello standard delle particelle elementari.
L'osservazione del barione Xi è una di queste, ed è stata possibile grazie alla capacità di LHC di produrre quark pesanti in quantità. Lo studio di questa nuova particella permetterà di approfondire la teoria che descrive l'interazione forte, la più intensa delle quattro interazioni fondamentali. Quella che appunto tiene legati i quark all'interno dei barioni, e i protoni (e neutroni) all'interno del nucleo atomico, perché capace di contrastare la forza repulsiva prodotta dalle loro cariche elettriche.

Emiliano Ricci

TECNOLOGIA

Memorie a base di DNA

Dimostrata la possibilità di registrare immagini e brevi filmati nel DNA di batteri

Conservando tutte le istruzioni per coordinare lo sviluppo e il funzionamento di ogni organismo, il DNA si dimostra senza dubbio un ottimo sistema di «archivio» di informazioni. Una capacità già sfruttata in passato da alcuni ricercatori, che hanno usato sequenze di nucleotidi, le unità di base del DNA, *in vitro* come una sorta di hard disk biologico, immagazzinando informazioni non genetiche, come i sonetti di Shakespeare. Una ricerca coordinata da George Church della Harvard Medical School, negli Stati Uniti, ha portato questo approccio a un livello più sofisticato, dimostrando che è possibile registrare informazioni complesse, come immagini o brevi filmati, nella sequenza di DNA di batteri.

Dopo aver dimostrato di poter immagazzinare una fotografia nel materiale genetico di una popolazione batterica, gli scienziati hanno deciso di registrare nel DNA alcuni fotogrammi tratti da uno dei primi film mai realizzati, le immagini di un cavallo al galoppo del fotografo Eadweard Muybridge. I ricercatori hanno poi assegnato una breve sequenza di nucleotidi a ciascun pixel dei fotogrammi, sulla base del livello di grigio, e hanno usato la tecnica CRISPR per inserire le sequenze di interesse nel genoma di una popolazione di batteri *Escherichia coli*. A questo punto il DNA della popolazione batterica conteneva l'intera informazione dei fotogrammi del film, una sorta di GIF del cavallo al galoppo che i ricercatori sono riusciti a recuperare con un'accuratezza del 90 per cento sequenziando il genoma dei batteri.

I risultati degli esperimenti, pubblicati su «Nature», dimostrano le potenzialità del DNA come memoria biologica, e suggeriscono che un giorno potrebbe essere possibile sfruttare il sistema per trasformare le cellule in registratori viventi. Sebbene l'idea sia al momento ancora futuristica, il metodo usato potrebbe permettere per esempio di registrare la sequenza dei geni che sono espressi nel corso della vita di una cellula, fornendo informazioni importanti per chi studia lo sviluppo di un organo o il progredire di una malattia.

Valentina Daelli

Passo in avanti della «valleytronica»

Ricercatori della City University di New York, con uno studio pubblicato su «Nature Photonics», hanno messo a punto un metodo ottico che a temperatura ambiente permette di manipolare e controllare con un laser la proprietà «valleytronica» di un semiconduttore.
Il termine «valleytronica» riprende l'inglese *valleytronic* e indica una nuova tecnologia basata sulla possibilità di codificare informazione usando una proprietà dell'elettrone diversa dalla carica (elettronica) o dallo spin (spintronica), cioè la proprietà «valley», per cui in alcuni materiali il grafico dell'energia degli elettroni relativa al loro momento è caratterizzata da due avvallamenti profondi, identici in condizioni non perturbate. Ma se il materiale si scosta dalle condizioni di equilibrio a causa di sollecitazioni, le due valli possono assumere profondità differenti e gli elettroni occuparne solo una delle due. Ecco dunque che la posizione degli elettroni in una sola delle valli è un ulteriore grado di libertà della particella, un numero quantico cioè che ne definisce una proprietà, che si può esprimere con 0 oppure 1 del sistema binario per codificare informazioni.
Il risultato ottenuto dagli scienziati statunitensi è un importante passo in avanti in questo promettente settore.

Marina Semiglia

Pagina a fronte: Science Photo Library/AGF (*illustrazione struttura protone*), xenotar/iStock (*LHC*); farakos/iStock (*illustrazione DNA*)

AMBIENTE

La lunga ombra delle metropoli

La distanza a cui arriva lo sfruttamento delle risorse per una città è più grande di quanto ritenuto

Una circonferenza di raggio mille. Tanti sono i chilometri su cui può estendersi l'ombra lunga di una metropoli, spremendo dal territorio circostante le risorse necessarie ai residenti. È la conclusione di scienziati dell'Università Federale di Lavras e colleghi dell'Università di Lancaster che sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» riassumono i risultati di un'indagine condotta nella foresta amazzonica attorno alla metropoli brasiliana di Manaus.

L'inurbamento della popolazione rurale è un fenomeno globale in rapida espansione, ma è nei paesi in via di sviluppo che risulta particolarmente evidente. Le conseguenze a lungo termine della rapida e disordinata proliferazione del tessuto urbano sono poco note, e la delimitazione dell'impatto sul territorio circostante è complessa. Per misurare a quale distanza da Manaus possa spingersi il prelievo delle risorse naturali, gli autori si sono concentrati sulla distribuzione del tambaqui, un pesce di grande taglia particolarmente apprezzato nella regione per il sapore delle carni. I ricercatori hanno battuto per un anno il corso del fiume Purus, tra i principali affluenti del Rio delle Amazzoni, intervistando pescatori e comunità locali sulla quantità e sulla dimensione del pescato nei tre giorni precedenti. Come previsto, le dimensioni e la facilità di cattura dei tambaqui sono risultate inversamente correlate alla distanza da Manaus. L'aumento della richiesta proveniente dalla metropoli, e la facilità con cui i pescatori oggi possono accedere al ghiaccio per conservare il pescato, ha innescato nel Purus una condizione di pesca eccessiva i cui effetti cessano solo 1000 chilometri più a monte.

«La defaunazione si spinge molto più in là rispetto a quanto ritenuto finora», ha commentato il ricercatore Daniel Tregidgo dell'Università di Lancaster, primo autore dello studio. «Ed è ancora più significativo, poiché i tropici, dove si concentrano due terzi della biodiversità totale, stanno vivendo una rapida crescita demografica».

Davide Michielin

Innalzamento dello zero termico e problemi idrici

Con il recente riscaldamento globale la temperatura dell'aria è mediamente più alta rispetto al passato e, come descritto dalla legge fisica di Clausius-Clapeyron, l'aria può contenere più vapore acqueo. Tutto questo fa pensare che in un mondo più caldo possano aumentare a livello globale anche le precipitazioni. E probabilmente avremo più pioggia che neve. Infatti, la neve può cadere solo se ci sono temperature abbastanza basse, che permettano all'acqua allo stato solido di non fondersi.

Una misura della quota a cui può avvenire un fenomeno nevoso è data dal cosiddetto «zero termico», cioè l'altezza in atmosfera a cui si passa da temperature negative negli strati alti a temperature positive negli strati più bassi (espresse in gradi Celsius). Ebbene, con il riscaldamento globale, questa quota si sta alzando. Questo significa che si alza anche la quota a cui può nevicare. Di recente Simone Schauwecker, dell'Università di Zurigo e del Meteodat GmbH con sede sempre nella stessa città svizzera, e collaboratori hanno studiato l'andamento passato e futuro dello zero termico sulle Ande peruviane, pubblicando il proprio lavoro sul «Journal of Geophysical Research». Dopo aver analizzato dati di osservazioni di vario tipo e osservato un chiaro, sia pur moderato, aumento dello zero termico negli ultimi decenni, Schauwecker e colleghi hanno usato proiezioni di modelli climatici per il trentennio che va dal 2071 al 2100.

I risultati ottenuti dagli autori mostrano un aumento della quota dello zero termico di circa 230 metri nello scenario migliore e di ben 850 metri in quello peggiore. In quest'ultimo caso i ghiacciai andini si conserverebbero solo a quote superiori ai 5800 metri. Così, anche se in quella zona le precipitazioni totali dovessero aumentare, la quantità di neve accumulata sulle Ande peruviane sarebbe molto più piccola. Dato che i depositi nevosi andini rappresentano gran parte delle risorse idriche peruviane e che con il disgelo primaverile ed estivo forniscono l'acqua da bere, per l'agricoltura e altre attività umane, la situazione idrica del Perù diverrebbe molto critica. E in altre zone del mondo avvengono fenomeni simili.

Antonello Pasini

filipefrazao/iStock (*Manaus*); azotov/iStock (*Ande*)

FISIOLOGIA

I limiti di velocità degli animali

Un nuovo modello spiega perché i più veloci non sono quelli di dimensioni maggiori

A quanto si dice, ogni mattina il leone e la gazzella si chiedono chi dei due correrà più forte. Ma almeno una certezza dovrebbero averla: entrambi, se sfidati, batteranno agevolmente il moscerino e l'elefante. Gli animali di media taglia, infatti, sono in generale i più veloci. E questo è un po' strano, perché gli animali potenzialmente capaci di raggiungere le velocità più alte sono i più grandi. Sono loro i più ricchi di fibre muscolari a contrazione rapida, quelle che in uno scatto accelerano fino alla velocità di punta (mentre altre fibre più lente ma meno affaticabili mantengono la velocità ordinaria).

L'enigma è ora stato spiegato su «Nature Ecology & Evolution» da Myriam Hirt, del German Centre for Integrative Biodiversity Research di Lipsia, e colleghi. Analizzando gli studi su quasi 500 specie terrestri, acquatiche e volanti, endotermi ed ectotermi, di ogni dimensione dal moscerino all'elefante, i ricercatori hanno elaborato un modello semplice e valido per tutti: il limite scaturisce dai tempi d'accelerazione e dai relativi consumi energetici.

Gli animali piccoli infatti accelerano in fretta e raggiungono presto la loro (modesta) velocità massima. Quelli più grandi accelerano più lentamente e per raggiungere una stessa velocità impiegano di più; per raggiungere la (elevata) velocità massima di cui sarebbero capaci, quindi, impiegherebbero molto più tempo. Tuttavia le fibre rapide, per convertire rapidamente l'energia chimica immagazzinata in energia meccanica, funzionano in anaerobiosi, ovvero senza ossigeno, e in questa condizione l'energia ricavabile dalle riserve è limitata. I muscoli quindi esauriscono le scorte energetiche ben prima di aver raggiunto la velocità massima possibile, e questo diventa il fattore limitante la velocità.

Altre considerazioni, dalla lunghezza degli arti alla massa muscolare e a tante altre differenze anatomiche e fisiologiche, spiegano poi le notevoli variazioni che si osservano fra animali di taglia simile, e che fanno per esempio la differenza fra i circa 40 chilometri orari umani e i 110 del ghepardo.

Giovanni Sabato

L'estinzione di massa prossima ventura

Gli autori della revisione pubblicata sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» non usano mezzi termini: l'attuale tasso di scomparsa delle specie è il preludio di un'estinzione di massa paragonabile a quella che segnò la fine dei dinosauri. L'analisi, effettuata da Gerardo Ceballos dell'Universidad Nacional Autónoma de México e da Paul Ehrlich e Rodolfo Dirzo della Stanford University, è stata basata sulla variazione tra la distribuzione storica e quella attuale di 27.600 vertebrati, che rappresentano circa metà delle specie terrestri conosciute.
La perdita di superficie si traduce in un calo delle dimensioni delle popolazioni: secondo gli autori, le attività antropiche hanno causato la scomparsa della metà del numero totale di animali che un tempo popolavano la Terra. Il 32 per cento delle specie è in rapido declino e in particolare, sui 177 mammiferi studiati, più del 40 per cento ha visto ridurre il proprio areale di oltre l'80 per cento. La maggiore perdita di biodiversità è concentrata nelle regioni tropicali, anche tra i mammiferi di grande taglia del Sudest asiatico. In termini assoluti, le regioni temperate sono meno colpite dalla perdita di biodiversità ma, in proporzione al numero di specie ospitate, mostrano una diminuzione simile se non superiore a quella dei tropici.

Davide Michielin

BIOLOGIA

Ipotalamo e invecchiamento

Manipolando le staminali in questo centro cerebrale si può accelerare o rallentare la senescenza

L'ipotalamo – un centro cerebrale importante nel regolare la temperatura e altre variabili fisiologiche – gioca un ruolo cruciale nell'invecchiamento dell'organismo, e manipolandolo si può accelerare o rallentare la senescenza. Dongsheng Cai, dell'Albert Einstein College of Medicine di New York, lo dimostra su «Nature» con esperimenti nei topi.

Cai aveva già mostrato che nell'ipotalamo dei topi, con l'età aumenta lo stato di infiammazione, e riducendo l'infiammazione si rallentano i danni della senescenza e si aumenta la longevità. Ora il ricercatore ha scoperto che questo dipende dalle cellule staminali ipotalamiche: l'infiammazione le fa via via morire ed è questo a promuovere la senescenza. In topi di mezza età geneticamente modificati in modo che queste staminali possano essere uccise con un farmaco, eliminandone il 70 per cento si accorcia la vita dell'8 per cento, peggiorano facoltà come memoria e coordinamento e cala la propensione a esplorare l'ambiente. Viceversa, trapiantando nell'ipotalamo staminali neurali resistenti all'infiammazione, la longevità aumenta di oltre il dieci per cento e gli animali restano in migliori condizioni fisiche e mentali.

Resta da capire in quale modo le staminali regolino l'invecchiamento. La loro funzione tipica è la neurogenesi, cioè la produzione di nuove cellule nervose. Ma i trapianti di staminali hanno dato i loro benefici troppo in fretta rispetto ai tempi necessari alla neurogenesi. Cai pensa quindi che l'elisir di giovinezza stia in molecole di segnale con cui le staminali regolano l'attività di altre cellule, cerebrali o di altri tessuti raggiunti attraverso il sangue. I maggiori indiziati sono alcune piccole molecole di RNA, o microRNA, secrete in abbondanza dalle staminali ipotalamiche, appunto con funzioni di segnale: iniettando nell'ipotalamo questi microRNA presi da staminali giovani, infatti, si hanno quasi gli stessi benefici del trapianto di staminali.

Resta ora da analizzare a fondo questi meccanismi e capire se possano aiutarci a capire, e magari a frenare, anche l'invecchiamento umano.

Giovanni Sabato

Come insegnare alle macchine un codice morale

Finora si pensava che fosse impossibile insegnare a una macchina a comportarsi secondo una precisa morale. Ora però un gruppo di ricerca dell'Università di Osnabrück, in Germania, sostiene di esserci riuscita in un articolo pubblicato su «Frontiers in Behavioral Neuroscience». Il gruppo, guidato da Leon Sütfeld dell'Istituto di Scienze cognitive dell'ateneo tedesco, ha attribuito a un'automobile a guida autonoma un codice morale di comportamento, in base a cui il veicolo può prendere decisioni immediate in situazioni di pericolo che coinvolgano persone, animali o cose.

Il codice morale è contenuto in un algoritmo realizzato in base all'osservazione di volontari alle prese con un sistema di realtà virtuale immersiva. Nell'esperimento, erano proposte ai conducenti condizioni di guida complicate, simili a quelle di una mattina molto nebbiosa, con visibilità ridotta quasi a zero. Durante la guida virtuale, di fronte ai volontari apparivano ostacoli improvvisi, come mamme con il passeggino, cani o altre automobili. Le reazioni sono state catalogate e analizzate per individuare eventuali schemi ricorrenti nelle decisioni dei guidatori. In questo modo i ricercatori hanno creato un modello finale in cui a ogni essere vivente od oggetto inanimato è attribuito un valore, corrispondente al livello di protezione che le persone sono disposte ad assicurare in caso di pericolo. Il tutto dimostrerebbe, secondo i ricercatori, che lo schema con cui prendiamo decisioni dettate dalla nostra morale in caso di ostacoli stradali che non si possono evitare può essere tradotto fedelmente in un algoritmo implementabile su ogni macchina. I ricercatori si sono anche fatti qualche domanda riguardo alla loro scoperta. Secondo Gordon Pipa, uno degli autori, «ora ci troviamo di fronte a due quesiti: se i sistemi autonomi debbano o meno adottare un codice morale da seguire e, in caso affermativo, se nell'applicarlo debbano imitare gli esseri umani, con tutta la loro fallibilità, oppure adottare un'etica universale», che tuttavia andrebbe individuata e scelta tra le tante possibili.

Riccardo Oldani

I cromosomi dei mammiferi

L'evoluzione degli euteri – i placentati propriamente detti, che includono i mammiferi attuali tranne marsupiali e monotremi – iniziò circa 105 milioni di anni fa, quando comparvero i primi progenitori simili a toporagni. Oggi possiamo farci un'idea di com'erano fatti i loro cromosomi e di come sono cambiati nel tempo. Un gruppo guidato da Harris Lewin dell'Università della California a Davis ha pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» la ricostruzione dei cromosomi dell'antenato comune a tutti gli euteri e di altri sei protagonisti del cammino evolutivo che ha portato all'essere umano. Grazie a nuovi metodi di sequenziamento del DNA, Lewin e colleghi hanno sviluppato un algoritmo che ricostruisce la struttura 3D dei cromosomi. Partendo dal genoma di 19 mammiferi attuali hanno ricreato virtualmente i 42 cromosomi ancestrali e la sequenza di processi mutazionali che hanno preso di mira 162 aree specifiche nel corso dell'evoluzione. Il lavoro servirà a chiarire il ruolo del riarrangiamento cromosomico nell'origine di nuove specie. E riportando le «lancette cromosomiche» all'epoca dei primi tumori nei mammiferi, forse potremo forse scovare terapie contro il cancro. **(FaPe)**

L'inizio della biomineralizzazione

Alcuni organismi unicellulari fossilizzati nelle rocce dello Yukon, nel nord-ovest del Canada, sono i più antichi eucarioti noti che mineralizzavano i loro tessuti. La biomineralizzazione, alla base di strutture come ossa e conchiglie, è stata una tappa evolutiva essenziale inventata più volte da distinte linee di eucarioti, cioè organismi con cellule dal nucleo ben differenziato, ma le sue origini non sono ancora chiare.

I microfossili canadesi erano noti da tempo e la loro collocazione tassonomica era incerta. Erano ritenuti simili agli esoscheletri di alcuni unicellulari odierni, quindi un esempio di biomineralizzazione, ma restava il dubbio che fossero invece frutto della fossilizzazione di tessuti molli. Ora Phoebe Cohen, del Williams College di Williamstown nel Massachusetts, su «Science Advances» li ha datati con precisione a 810 milioni di anni fa, mostrando che i cristalli del minerale apatite al loro interno sono stati prodotti durante la loro vita. La microscopia elettronica mostra che i tessuti mineralizzati hanno una complessa organizzazione in lunghe fibrille, prodotte sotto uno stretto controllo biologico. Le analisi delle rocce fanno pensare che la capacità di creare cristalli di apatite, un fosfato di calcio, sia stata favorita dalle alte concentrazioni di fosfato disciolto all'epoca in quelle acque. **(GiSa)**

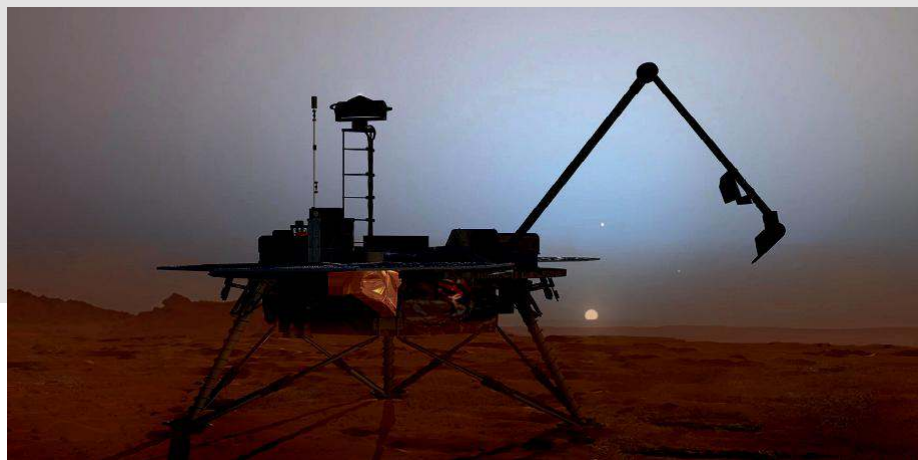
Tradizioni di scimmie

Le tradizioni – comportamenti ideati da alcuni membri di un gruppo e appresi dagli altri e dalle generazioni successive – sono note in molti animali. È quindi importante capire come sono apprese e tramandate. Un gruppo che include Elisabetta Visalberghi, dell'Istituto di scienze e tecnologie della cognizione del CNR, presenta sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» uno dei primi studi al riguardo.

I cebi barbuti brasiliani imparano a rompere le noci usando sassi. Gli studiosi, osservando in parallelo esperti e neofiti, hanno svelato un complesso meccanismo di apprendimento. Un adulto che inizia a rompere una noce attira subito l'attenzione dei giovani, che provano a imitarne vari gesti e continuano poi anche quando l'adulto ha smesso. Rompere le noci non è facile e il complesso ciclo di osservazione, pratica e correzione richiede 3-4 anni, nei quali gli adulti, con l'esempio, portano l'attenzione dei giovani sui dettagli cruciali per il successo. **(GiSa)**

Marte, il suolo è tossico per i batteri

Marte è gelido, arido e investito da una pioggia continua di radiazioni provenienti dal Sole. È un pianeta inospitale per equipaggi umani e tossico persino per i microrganismi. A mostrarlo è uno studio di Jennifer Wadsworth e Charles S. Cockell, astrobiologi dell'Università di Edimburgo, mirato a testare la sopravvivenza di batteri sul suolo marziano. In particolare i due hanno studiato la reazione del batterio *Bacillus subtilis*, un contaminante comune delle sonde spaziali, ai perclorati, molecole composte da cloro e ossigeno, abbondanti su Marte.

Sul Pianeta Rosso i perclorati sono stati rilevati per la prima volta nel 2008 dal *lander* Phoenix della NASA sotto forma di strisce chiare, forse brina. Queste molecole sono stabili a temperatura ambiente e diventano potenti ossidanti alle alte temperature; ma sul suolo marziano, caratterizzato da una temperatura media di -55 °C, possono comunque uccidere *B. subtilis* in pochi minuti. Come spiegato su «Scientific Reports», i perclorati sono infatti attivati anche dai raggi UV che investono di continuo la superficie del Pianeta Rosso. Nonostante questo risultato, gli autori ricordano che altri microrganismi potrebbero non seguire lo stesso destino di *B. subtilis*, e suggeriscono di cercare altre forme di vita negli strati del sottosuolo marziano più protetti dagli UV. **(MaRa)**

J. King-Holmes/Science Photo Library/AGF (*cromosomi*); Lane Mike/Biosphoto/AGF (*cebo*); NASA/JPL-Calech/Università dell'Arizona (*Phoenix*)

Origini della gravidanza

La più delicata fase della gravidanza dei mammiferi è forse l'impianto, il momento in cui l'embrione si aggancia alla parete dell'utero. Negli esseri umani e negli altri mammiferi placentati l'impianto è associato a una fase di infiammazione temporanea, che cessa al momento del parto.

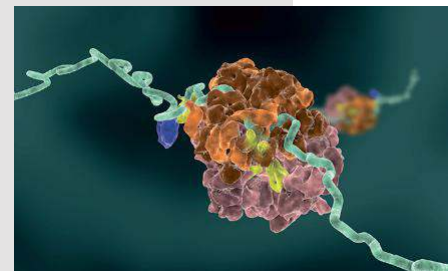
Per capire il significato di questa reazione immunitaria e studiare l'origine della gravidanza nei placentati, uno studio di Oliver W. Griffith delle Yale University pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» ha investigato a livello molecolare che cosa avviene nell'opossum, che, come tutti i marsupiali, partorisce quasi subito dopo un breve impianto. Nell'opossum la reazione infiammatoria è simile alla nostra ma induce il parto, ruolo che probabilmente aveva anche nell'antenato comune dei mammiferi placentati. I meccanismi genetici di questa reazione sarebbero stati cooptati durante l'evoluzione per modulare invece un impianto permanente e la formazione della placenta. (MaSa)

Le misteriose lenti viventi dell'Archeano

Curiosi oggetti microscopici, gusci tondi e cavi simili a lenti, sono stati riconosciuti come fossili di un gruppo estinto e finora sconosciuto di forme viventi, vissuto da 3,4 a 3 miliardi di anni fa e quindi tra i più antichi mai esistiti. È il risultato dell'analisi pubblicata su «Precambrian Research» da Christopher H. House della Pennsylvania State University e colleghi.

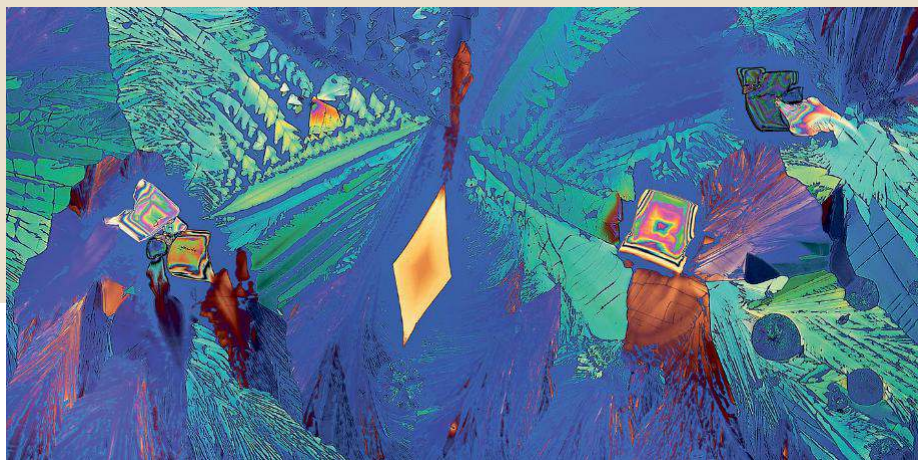
Scoperti nel 1992 e lunghi non più di 70 millesimi di millimetro, i fossili si trovano in antiche selci di Australia e Sudafrica. L'analisi chimica ne ha dimostrato l'origine biologica e l'abbondanza di carbonio-12 suggerisce un metabolismo autotrofo, vale a dire che questi organismi traevano l'energia dall'ambiente e non nutrendosi di altre forme di vita. Sia i sedimenti in cui si trovano sia la loro struttura indicano che vivessero come plancton. La forma dei gusci infatti è adatta al galleggiamento, e secondo gli autori la loro robustezza poteva essere d'aiuto nell'ambiente tormentato della Terra primordiale, squassata da eruzioni vulcaniche e impatti meteoritici. Furono una delle prime forme di vita di una qualche complessità sulla Terra, distinta dai semplicissimi fossili batterici finora noti nell'epoca Archeana, e prosperarono per almeno 400 milioni di anni. Ma non hanno lasciato, a quanto ne sappiamo, discendenti. (MaSa)

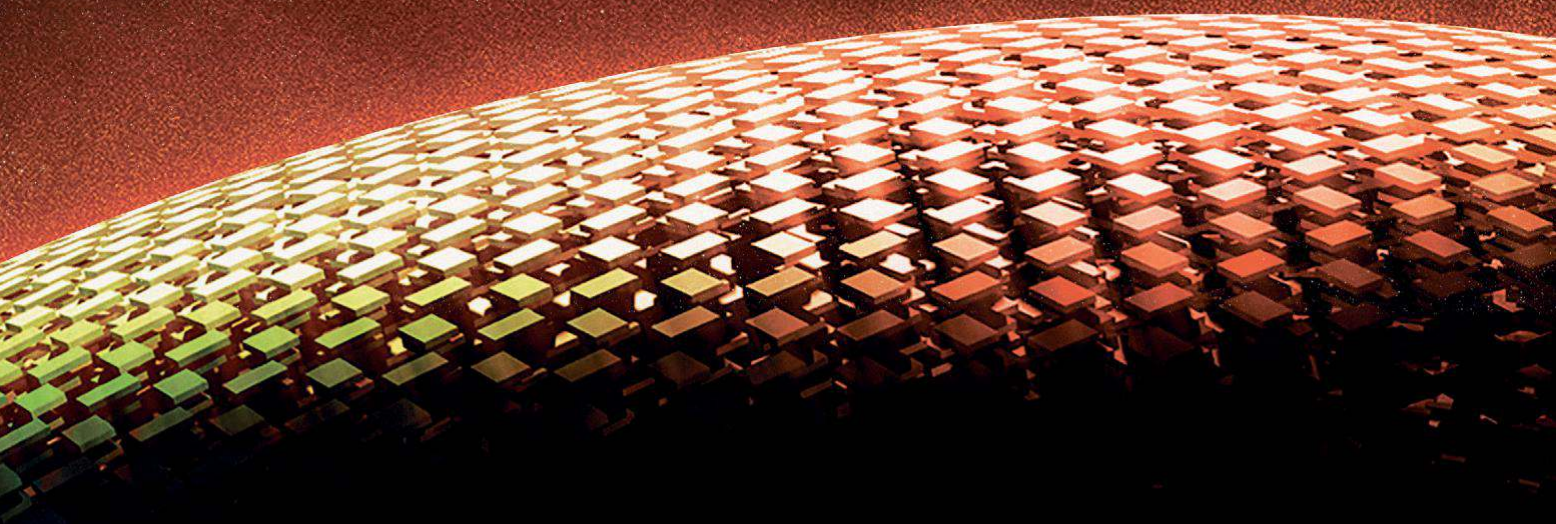
Ribosomi differenziati

I milioni di ribosomi che sintetizzano le proteine di una cellula non sono tutti uguali, e alcuni sarebbero specializzati nel produrre particolari proteine. Lo mostrano su «Cell» e «Molecular Cell» due studi con tecniche basate sulla spettrometria di massa effettuati dal gruppo di Maria Barna, della Stanford University. Dubbi sull'equivalenza dei ribosomi erano già sorti, ma analizzarne in massa la composizione era difficile. Una prima analisi su 15 proteine ribosomali nelle staminali embrionali di topo ha mostrato

che quattro sono assenti nel 30-40 per cento dei ribosomi, mentre un altro esame su oltre 70 proteine ne ha individuate sette solo in alcuni. Ma soprattutto, si è visto che alcuni ribosomi sono specializzati nel leggere certi RNA messaggeri, e quindi produrre certe proteine, secondo una logica precisa: un ribosoma produce un gruppo di proteine partecipi di una stessa funzione.
Il meccanismo scoperto da Barna e colleghi aggiunge un ulteriore livello di controllo alla sintesi proteica, e spiega i sintomi di alcune malattie rare dovute a mutazioni delle proteine ribosomali, alcune delle quali causano difetti molto specifici. Un esito in effetti atteso, se i ribosomi coinvolti sono specializzati in una specifica funzione. (GiSa)

Effetti di gravità esotica in un cristallo

Da tempo i fisici hanno previsto un particolare effetto, detto anomalia assiale-gravitazionale. Secondo la teoria, in presenza di campi gravitazionali intensi, come quelli osservati in prossimità di un buco nero, si dovrebbe verificare una rottura di simmetria in particolari tipi di coppie di particelle con caratteristiche speculari. L'azione del campo gravitazionale dovrebbe quindi creare più particelle di un tipo rispetto all'altro. Non potendo riprodurre in laboratorio i campi gravitazionali necessari per sperimentare questo effetto, un gruppo di fisici guidato da Johannes Gooth, dell'Università di Amburgo, in Germania, ha sfruttato un'analogia basata sull'equivalenza fra massa ed energia. In particolari condizioni, infatti, l'azione dei gradienti di temperatura sui flussi di energia si può descrivere in maniera matematicamente equivalente a quella della curvatura gravitazionale sulle masse.
Gooth e colleghi hanno quindi studiato all'interno di un cristallo di fosfuro di niobio il comportamento quantistico di quasiparticelle note come fermioni di Weyl, privi di massa e prodotti sempre a coppie con chiralità opposte. Sottoposti a gradienti di temperatura, i fermioni di Weyl hanno appunto evidenziato l'anomalia prevista. Ma c'è chi contesta l'analogia gravità-temperatura e sostiene che l'effetto sia ancora da verificare. (EmRi)

Stock-colors/iStock (*gravidanza*); S. Lowry/Science Photo Library/AGF (*cristallo, micrografia*); RAMON ANDRADE 3DCIENCIA/ Science Photo Library/AGF (*ribosoma*)

COSMOLOGIA

BUCHI dal principio del tempo

IN BREVE

La natura della materia oscura – il materiale invisibile che tiene insieme le galassie grazie alla sua gravità – è un profondo enigma cosmico.

Molti ricercatori sospettano che la materia oscura sia composta da particelle dotate di massa debolmente interagenti (WIMP) e le cercano con i loro esperimenti. Ma a oggi queste WIMP non sono state trovate.

I buchi neri «primordiali» che potrebbero essersi formati poco dopo il big bang sono un altro candidato per la materia oscura, ma anch'essi, finora, sono sfuggiti alle osservazioni.

Ulteriori prove per i buchi neri primordiali potranno emergere dai nuovi dati dei rivelatori di onde gravitazionali e di altri strumenti. Se la loro esistenza fosse confermata, questi oggetti potrebbero risolvere il mistero della materia oscura e di vari altri enigmi cosmici.

NERI

Una popolazione invisibile di buchi neri nati meno di un secondo dopo il big bang potrebbe risolvere il mistero della materia oscura

di Juan García-Bellido e Sébastien Clesse

Più di un miliardo di anni fa due buchi neri in una regione remota dell'universo si avvicinarono a spirale l'uno all'altro in una danza mortale, fino a fondersi. Questa collisione fu così violenta che scosse il tessuto dello spazio-tempo, emanando tutt'attorno perturbazioni – le onde gravitazionali – che attraversarono il cosmo alla velocità della luce. Nel settembre 2015, dopo aver percorso più di un miliardo di anni luce, queste onde hanno investito il nostro pianeta, venendo registrate come un «cinguettio» dai sensori dell'Advanced Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO).

È stata la prima rilevazione diretta delle onde gravitazionali, e questa osservazione ha confermato la previsione fatta da Albert Einstein un secolo fa, riguardo alla loro esistenza. Il cinguettio però ha rivelato che ognuno dei buchi neri progenitori della fusione era 30 volte più pesante del Sole. Cioè, le loro masse erano due o tre volte più grandi dei buchi neri ordinari nati dall'esplosione di stelle massicce che diventano supernove. Questi buchi neri erano assai pesanti, è difficile capire come possano essersi formati da una stella. Inoltre, anche se due buchi neri del genere si fossero formati indipendentemente dalla morte di stelle con massa enorme, poi si sarebbero dovuti trovare e unire, un evento con una probabilità estremamente bassa di verificarsi entro l'età attuale dell'universo. È quindi ragionevole sospettare che questi buchi neri massicci si fossero formati attraverso un altro processo più esotico, in cui potrebbero non avere alcun ruolo le stelle. Oltre alla rilevazione delle onde gravitazionali, è possibile che LIGO abbia svelato qualcosa di ancora più straordinario: buchi neri che precedono la formazione delle stelle stesse.

Sebbene simili buchi neri «primordiali» non siano mai stati osservati, alcuni modelli teorici suggeriscono che se ne possano essere formati in quantità enorme a partire dal plasma caldo e denso che riempiva il cosmo meno di un secondo dopo il big bang. Allora Questa popolazione nascosta potrebbe risolvere diversi dei misteri più rilevanti della cosmologia moderna. In particolare, i buchi neri primordiali potrebbero costituire una parte della materia oscura (se non tutta), l'invisibile 85 per cento della materia dell'universo che fa da colla gravitazionale per tenere insieme le galassie

Kenn Brown/Mondolithic Studios

e gli ammassi di galassie. Ulteriori ricerche con LIGO e altri strumenti metteranno presto alla prova queste idee, con la possibilità di scatenare una nuova rivoluzione nella nostra comprensione del cosmo.

Il declino dei MACHO, l'ascesa delle WIMP

In partenza i buchi neri sembrerebbero candidati ideali per la materia oscura, perché non emettono luce. Infatti, insieme ad altri oggetti oscuri come i pianeti e le nane brune, costituiscono una soluzione proposta da tempo per il problema della materia oscura: i MACHO, abbreviazione di «MAssive Compact Halo Object» («oggetto compatto massiccio di alone»). Presenti sia negli aloni sferici che circondano le galassie sia nei pressi del centro luminoso di ogni galassia, i MACHO genererebbero l'attrazione gravitazionale responsabile dei moti altrimenti anomali delle stelle e del gas che gli astronomi osservano nelle periferie delle galassie. In poche parole, le galassie sembrano ruotare troppo in fretta per essere tenute insieme dalla massa visibile delle stelle che osserviamo. La materia oscura fornisce l'attrazione aggiuntiva che serve per impedire alle galassie rotanti di scagliar via le loro stelle.

Se i MACHO compongono la maggior parte della materia oscura dell'universo, servono anche per spiegare altre osservazioni. Qualunque cosa sia la materia oscura, dà forma alle più grandi strutture dell'universo, determinando origine e crescita delle galassie, degli ammassi e dei superammassi di galassie. Questi oggetti si formano a partire dal collasso gravitazionale di nubi di gas all'interno degli aloni di materia oscura. I cosmologi hanno mappato in modo preciso la distribuzione spaziale di queste nubi attraverso ampie e profonde ricognizioni delle galassie e le hanno correlate con le minuscole fluttuazioni di temperatura nel fondo cosmico a microonde (CMB), il bagliore residuo del big bang. Inoltre la massa diffusa della materia oscura nelle grandi galassie e negli ammassi deforma lo spazio, distorcendo la luce proveniente da oggetti lontani, un fenomeno noto come «lente gravitazionale».

L'ipotesi MACHO ha però perso consensi una decina d'anni fa, quando i MACHO non sono apparsi nei tentativi indiretti effettuati per cercarli. Gli astronomi li cercavano soprattutto attraverso il «microlensing», una variante del concetto di lente gravitazionale in cui un buco nero, una nana bruna o addirittura un pianeta passano davanti a una stella sullo sfondo e temporaneamente ne amplificano la luce. Varie indagini pluriennali mediante microlensing di milioni di stelle nella Grande e nella Piccola Nube di Magellano, le principali galassie satellite della Via Lattea, non hanno trovato alcuna prova che i MACHO formino la totalità del nostro alone galattico. Questi risultati sono stati abbastanza definitivi da permettere di escludere che MACHO fino a circa dieci masse solari siano il costituente primario della materia oscura. Mentre si effettuavano queste indagini, i teorici mettevano a punto un'ipotesi alternativa: le WIMP, cioè le «Weakly Interacting Massive Particles» («particelle massive debolmente interagenti»).

Le WIMP sono previste da alcune estensioni del modello standard della fisica delle particelle, ma finora sono elusive quanto i MACHO. Fino a oggi – nonostante decenni di ricerche con acceleratori di particelle, rivelatori sotterranei e telescopi spaziali – non è stata trovata prova della loro esistenza. Via via che nella ricerca delle WIMP si accumulavano risultati negativi, alcuni ricercatori hanno iniziato a considerare l'ipotesi MACHO, concentrandosi sui buchi neri primordiali. Ma quale processo avrebbe potuto seminare questi strani oggetti in tutto l'universo osservabile, e come possono essere sfuggiti alle ricerche per così tanto tempo?

Juan García-Bellido è fisico teorico e professore presso l'Istituto di fisica teorica di Madrid. I suoi interessi di ricerca sono l'universo delle origini, l'energia oscura, i buchi neri e la gravità quantistica. García-Bellido è membro della Dark Energy Survey e delle missioni Euclid e Laser Interferometer Space Antenna (LISA) dell'Agenzia spaziale europea.

Sébastien Clesse è un cosmologo belga, ricercatore postdoc dell'Università RWTH di Aachen, in Germania. I suoi studi riguardano l'inflazione cosmica, la gravità modificata e i buchi neri primordiali. Clesse è un membro della missione Euclid e della collaborazione Square Kilometer Array.

Buchi neri dal big bang

I fisici Bernard Carr e Stephen Hawking proposero l'idea dei buchi neri primordiali negli anni settanta. Considerarono buchi neri di massa inferiore a quella di una montagna. Buchi neri così piccoli sarebbero già evaporati e scomparsi nel corso dei quasi 14 miliardi di anni di età del nostro universo, attraverso un processo quanto-meccanico scoperto da Hawking e chiamato radiazione di Hawking. Ma Carr e Hawking esaminarono anche la possibilità che buchi neri più massicci, e che non evaporano, potessero costituire la materia mancante in ammassi di galassie.

La possibilità che massicci buchi neri primordiali possano costituire la maggior parte della materia oscura o addirittura tutta è stata esaminata in seguito negli anni novanta, in base a un'idea nota come inflazione cosmica, proposta inizialmente dal fisico Alan Guth nei primi anni ottanta. L'inflazione è una fase ipotetica di espansione smodata, immediatamente successiva al big bang. In 10^{-35} secondi, due punti distanti meno di un raggio atomico si sarebbero allontanati di 4 anni luce, una distanza paragonabile a quella delle stelle più vicine a noi. Inoltre durante l'inflazione le minime fluttuazioni quantistiche sono ingrandite fino a scala macroscopica dalla rapida espansione, seminando l'universo in crescita con regioni in cui materia ed energia hanno una densità maggiore o minore della media, da cui emergono successivamente le strutture cosmiche. Per quanto bizzarra possa sembrare, la teoria dell'inflazione è sostenuta dall'osservazione di fluttuazioni di densità di questo tipo nella CMB.

Nel 1996 uno di noi (García-Bellido), insieme ad Andrei Linde, della Stanford University, e a David Wands, dell'Università di Portsmouth, nel Regno Unito, ha scoperto un modo con cui l'inflazione può formare picchi netti nelle fluttuazioni dello spettro di densità nell'universo delle origini (*si veda il box nella pagina di fronte*). In altre parole, abbiamo mostrato come le fluttuazioni quantistiche enormemente ingrandite dall'inflazione genererebbero regioni assai dense che collasserebbero a formare una popolazione di buchi neri meno di un secondo dopo la fine dell'inflazione. Questi buchi neri si comporterebbero poi come materia oscura, e dominerebbero il contenuto di materia dell'universo attuale. Questo modello genera una popolazione di buchi neri tutti con la stessa massa, determinata dalla quantità di energia nella regione che collassò. Molti gruppi di ricerca hanno poi iniziato a esplorare queste idee in diversi modelli di inflazione.

Nel 2015 i due autori (Clesse e García-Bellido) hanno proposto uno scenario simile a quello del 1996, in cui queste fluttuazioni primordiali mostrano un ampio picco nelle densità energetiche e nelle dimensioni spaziali, generando buchi neri primordiali con un'ampia gamma di masse. Una conseguenza fondamentale di questo scenario è che le grandi fluttuazioni di densità collassano

I buchi neri generati dal big bang

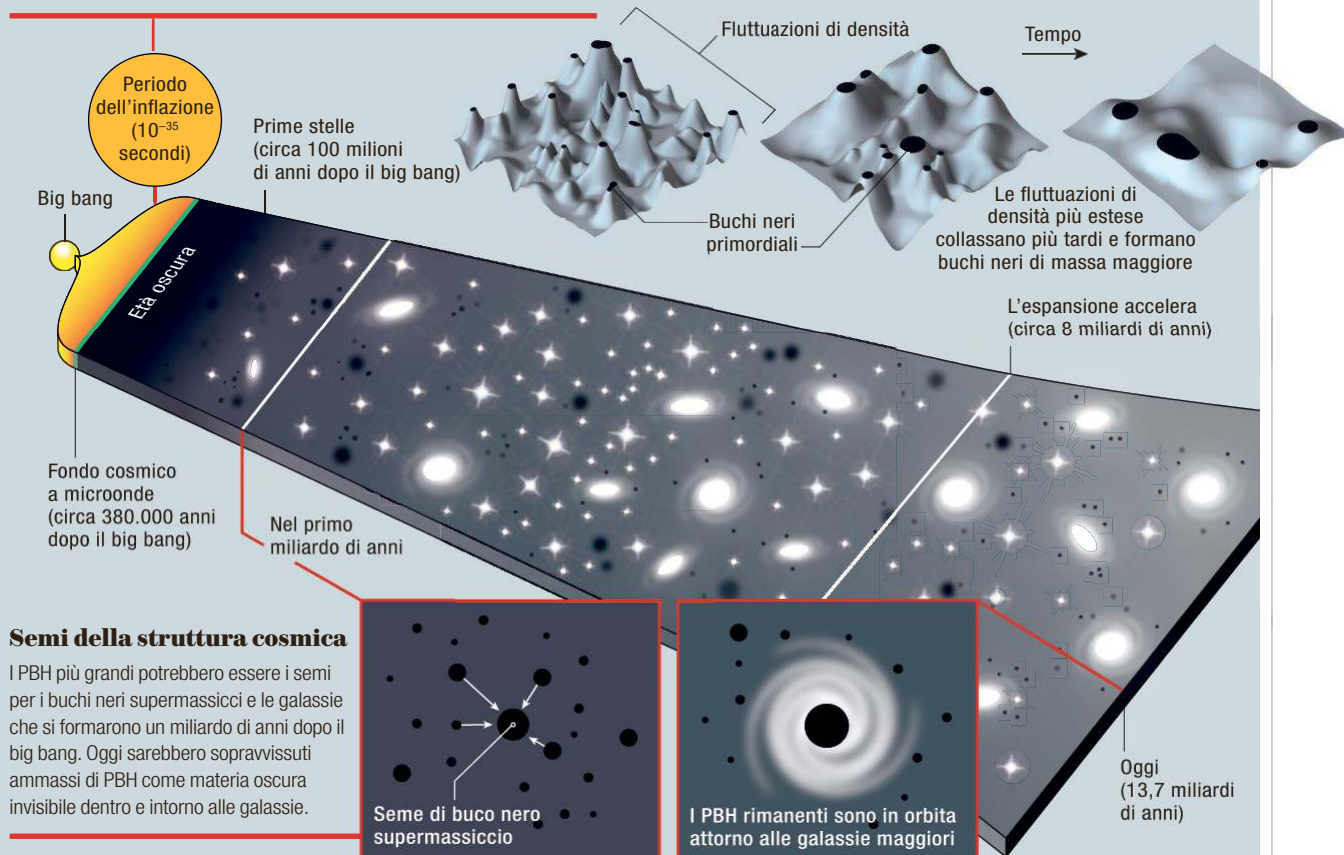
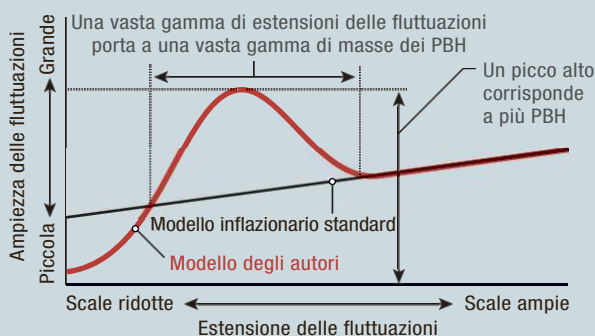
I primi buchi neri dell'universo potrebbero essere nati nei primi momenti del tempo cosmico, quando tutto era una nebbia fitta e ribollente di particelle fondamentali. Negli anni settanta i teorici si accorsero che le regioni più dense di quella nebbia potevano collassare sotto la propria gravità appena un secondo dopo il big bang, formando i cosiddetti buchi neri primordiali (PBH) che avrebbero quindi modellato la struttura dell'universo in evoluzione e in espansione. Non emettendo luce, i PBH sarebbero un candidato naturale, ma difficile da rilevare, per la materia oscura.

Negli ammassi si formano i buchi neri primordiali

L'inflazione, l'ipotetica accelerazione dell'espansione dell'universo meno di un secondo dopo il big bang, formerebbe i PBH, amplificando le fluttuazioni quantistiche fino a scale immense. Al termine dell'inflazione queste fluttuazioni avrebbero prodotto perturbazioni della densità, che poi avrebbero formato i PBH. Le fluttuazioni più grandi e intense avrebbero creato PBH più massicci e numerosi. Il modello inflazionario degli autori prevede un ampio picco di fluttuazioni amplificate e una vasta gamma di perturbazioni di densità, che avrebbero prodotto PBH in ammassi in cui i singoli PBH vanno da un centesimo a 10.000 volte la massa del Sole. Mezzo milione di anni dopo il big bang, un ammasso poteva estendersi per centinaia di anni luce e contenere milioni di PBH. Dato che i PBH in questi ammassi si fondevano, disperdevano e alimentavano di gas e polvere ordinari, avrebbero guidato la crescita di galassie e ammassi di galassie.

Semi della struttura cosmica

I PBH più grandi potrebbero essere i semi per i buchi neri supermassicci e le galassie che si formarono un miliardo di anni dopo il big bang. Oggi sarebbero sopravvissuti ammassi di PBH come materia oscura invisibile dentro e intorno alle galassie.

Illustrazione di Jen Christiansen e George Retseck (*pannelli densità-fluttuazioni*)

in prossimità spaziale l'una all'altra, generando ammassi di buchi neri di masse diverse, da un centesimo a 10.000 volte la massa del nostro Sole. Entro 500.000 anni dal big bang, ogni ammasso crescente e in evoluzione poteva contenere milioni di buchi neri primordiali in un volume di poche centinaia di anni luce.

Questi ammassi di buchi neri primordiali sarebbero densi a sufficienza per spiegare le misteriose fusioni di buchi neri di LIGO, che altrimenti non si verificherebbero con regolarità. Di tanto in tanto le traiettorie di due buchi neri primordiali all'interno di un ammasso possono incontrarsi, e così i due oggetti diventano gravitazionalmente legati l'uno all'altro. A quel punto si avvicinano a spirale nel corso anche di milioni di anni, irradiando onde gravitazio-

La materia oscura è composta da buchi neri primordiali?

1. Rilevare nuove onde gravitazionali

I rivelatori di onde gravitazionali come Advanced LIGO (negli Stati Uniti) e Advanced Virgo (in Italia) dovrebbero rilevare altre fusioni di buchi neri. Il rilevamento di un numero inaspettatamente elevato di fusioni di buchi neri massicci farebbe pensare a una loro origine primordiale, ma da solo non dimostrerebbe che i buchi neri primordiali costituiscono la materia oscura. La prova dovrà emergere dalla conferma attraverso altre osservazioni. In ultima analisi, il rilevamento di un buco nero con una massa inferiore al cosiddetto limite di Chandrasekhar (1,45 masse solari), al di sotto del quale le stelle non possono produrre un buco nero, sarebbe il segno innegabile di un'origine primordiale. Fortunatamente LIGO potrà presto raggiungere la sensibilità per rilevare un buco nero del genere, se il suo compagno è più pesante (più di 10 masse solari). Infine, su scale cosmologiche, un'abbondanza di buchi neri binari dovrebbe indurre un fondo diffuso di onde gravitazionali, che potrebbero essere rilevate dalla futura Laser Interferometer Space Antenna (LISA) spaziale e dai *pulsar timing array* a terra.

2. Scoprire nuove galassie nane fiochissime

Nel 2015, usando i dati della collaborazione Dark Energy Survey, sono state scoperte nell'alone galattico decine di galassie nane fiochissime; questa scoperta suggerisce che potrebbero orbitare intorno alla Via Lattea centinaia di galassie nane simili, dominate dalla materia oscura. Se la materia oscura è composta da buchi neri primordiali, la maggior parte di essi dovrebbe trovarsi in galassie nane di questo tipo, un gran numero delle quali potrebbe essere rilevato con futuri strumenti spaziali, come la missione Euclid dell'Agenzia spaziale europea (ESA) e il Wide-Field Infrared Survey Telescope (WFIRST) della NASA.

3. Misurare le variazioni nella posizione delle stelle

La missione Gaia dell'ESA, attualmente in corso, sta misurando posizioni e velocità di circa un miliardo di stelle nella Via Lattea con una precisione senza precedenti. Le misurazioni possono rivelare la presenza di numerosi grossi buchi neri isolati attraverso le minuscole variazioni che questi oggetti hanno sui moti delle stelle vicine.

4. Mappare l'idrogeno cosmico neutro

Prima e durante la formazione delle prime stelle, l'universo era per lo più composto da idrogeno neutro, che emette una radiazione caratteristica a una lunghezza d'onda di 21 centimetri. Già nel 2020 lo Square Kilometer Array (SKA), progettato per essere il più grande radiotelescopio costruito, inizierà a comporre una mappa su tutto il cielo di questo segnale di 21 centimetri. L'accrescimento di materia presso i buchi neri primordiali genera un'intensa radiazione a raggi X, ionizzando l'idrogeno neutro circostante e lasciando segni su questa mappa «a 21 centimetri». SKA dovrebbe quindi rilevare la presenza di enormi buchi neri primordiali, se effettivamente sono la spiegazione della materia oscura.

5. Sondare le distorsioni del fondo cosmico a microonde

I raggi X provenienti dai buchi neri primordiali che divoravano gas e polvere nell'universo delle origini dovrebbero anche indurre distorsioni nello spettro del fondo cosmico a microonde. L'importanza di questo effetto è ancora in discussione, in particolare nei modelli in cui i buchi neri primordiali sono raggruppati in ammassi densi. Ciò nonostante, è stato proposto il concetto di missione della NASA Primordial Inflation Explorer (PIXIE) per misurare con precisione queste distorsioni, che dovrebbero fornire vincoli stringenti ai modelli di materia oscura che si basano sui buchi neri primordiali.

nali fino a quando non si fondono. Nel gennaio 2015 abbiamo effettivamente previsto che LIGO avrebbe rilevato onde gravitazionali da fusioni massicce di questo tipo, onde identiche a quelle rilevate da LIGO nel corso dello stesso anno. Le nostre stime per il tasso di eventi di fusione negli ammassi di buchi neri primordiali corrispondono perfettamente con i limiti posti da LIGO. Se nei prossimi anni LIGO e altre strutture simili rileveranno molte altre fusioni, sarà forse possibile determinare la gamma di masse e di rotazioni per tutti i buchi neri progenitori. Un'analisi statistica di questo tipo sulle fusioni di buchi neri fornirà informazioni cruciali per verificare le loro origini potenzialmente primordiali.

Un aspetto chiave di questo scenario è che elimina i vincoli sui MACHO imposti in precedenza dagli esperimenti con il microlensing gravitazionale, che escludevano, come costituente principale della materia oscura, buchi neri fino a dieci masse solari. Se i buchi neri primordiali esistono e hanno un'ampia varietà di masse, solo una piccola frazione sarebbe visibile con questi esperimenti di microlensing, mentre il grosso resterebbe invisibile. Inoltre, se i buchi neri primordiali sono raggruppati in ammassi, questa disposizione porta a una probabilità minore di 1/1000 che un ammasso si trovi proprio sulla visuale verso le stelle delle galassie satellite vicine che sono monitorate in cerca di eventi di microlensing. Per evitare questo effetto si potrebbero cercare eventi di microlensing in altre parti del cielo, esaminando eventuali luci amplificate delle stelle della galassia di Andromeda, la «vicina» della Via Lattea, o addirittura di quasar in galassie distanti. Così si potrebbe sondare un volume molto più grande di aloni galattici in cerca di segni di MACHO, e cioè di buchi neri primordiali. Recenti osservazioni suggeriscono che mentre i MACHO entro le dieci masse solari potrebbero non costituire l'intero alone di una galassia media, quelli tra un decimo e poche masse solari potrebbero facilmente rappresentare circa il 20 per cento della massa di un tipico alone galattico. Questo valore è coerente con il nostro scenario di buchi neri primordiali con un'ampia gamma di masse.

In poche parole non possiamo ancora escludere la possibilità che la materia oscura sia costituita principalmente da buchi neri primordiali. Questo scenario potrebbe anzi decifrare altri misteri cosmici legati alla materia oscura e alla formazione delle galassie.

Molti problemi, una soluzione

Gli ammassi di buchi neri primordiali potrebbero chiarire il cosiddetto problema dei satelliti mancanti: l'apparente mancanza di galassie satellite «nane» che si dovrebbero formare attorno a galassie massicce come la nostra Via Lattea. Le simulazioni che danno modelli della distribuzione cosmica della materia oscura riproducono la struttura su larga scala dell'universo come viene osservata,

in cui aloni di materia oscura attraggono gli ammassi di galassie fino a formare giganteschi filamenti e fogli che circondano grandi vuoti a bassa densità. Ma su scala più piccola queste simulazioni prevedono l'esistenza di numerosi aloni secondari di materia oscura in orbita attorno alle galassie maggiori. Ognuno di questi aloni secondari dovrebbe ospitare una galassia nana, e dovrebbero essercene centinaia a circondare la Via Lattea. Eppure gli astronomi hanno trovato molte meno galassie nane del previsto.

Ci sono molte possibili spiegazioni per il problema delle galassie satellite mancanti, fra cui primeggia l'idea che le simulazioni non considerino adeguatamente l'effetto della materia ordinaria (idrogeno ed elio delle stelle) su formazione e comportamento delle galassie nane previste. Il nostro scenario suggerisce che se i buchi neri primordiali ammassati costituirono la maggior parte della materia oscura, dominerebbero gli aloni secondari che circondano la Via Lattea, assorbendo parte della materia ordinaria e riducendo il tasso di formazione di stelle in questi aloni. Inoltre, anche se questi aloni secondari formarono grandi quantità di stelle, queste ultime potrebbero essere state espulse da incontri ravvicinati con massicci buchi neri primordiali. I due fenomeni ridurrebbero di molto la luminosità delle galassie satellite, rendendole difficili da individuare senza rivelatori a campo ampio e con sensibilità estrema. Per fortuna adesso ci sono rivelatori simili e gli astronomi li hanno già usati per scoprire decine di galassie nane fiochissime che circondano la Via Lattea. Questi oggetti sembrano contenere una quantità di materia oscura anche centinaia di volte maggiore rispetto alle stelle luminose, e il nostro modello prevede che ce ne possano essere altre migliaia in orbita attorno alla nostra galassia.

Nei prossimi anni varie osservazioni potrebbero mettere alla prova lo scenario dei buchi neri primordiali

Le simulazioni prevedono anche una popolazione di galassie di dimensioni intermedie tra galassie nane e galassie più grandi. Si dice che questi oggetti siano «troppo grandi per fallire», perché sarebbero grandi a sufficienza per formare stelle ed essere visibili, eppure non sono apparsi nelle osservazioni dei dintorni della Via Lattea. Questo problema dei «troppo grandi per fallire» ha una soluzione simile a quella del problema delle galassie satellite mancanti: i buchi neri primordiali massicci nei nuclei delle galassie di dimensioni intermedie potrebbero espellere da questi oggetti stelle e gas, rendendoli invisibili alla maggior parte delle indagini.

I buchi neri primordiali potrebbero anche risolvere l'origine dei buchi neri supermassicci (SMBH). Questi mostri hanno fra milioni e miliardi di masse solari e si osservano al centro di quasar e galassie maggiori, fin dall'inizio della storia dell'universo. Tuttavia, se questi SMBH si formarono e crebbero a partire dal collasso gravitazionale delle prime stelle dell'universo, non avrebbero potuto acquisire masse così gigantesche in un tempo relativamente breve: meno di un miliardo di anni dopo il big bang.

Nel nostro scenario, sebbene la maggior parte dei buchi neri primordiali abbia appena decine di masse solari, una percentuale molto piccola sarà più pesante, e andrà dalle centinaia alle decine di migliaia di masse solari. Nati meno di un secondo dopo il big bang, questi oggetti avrebbero poi la funzione di semi giganti per la formazione di prime galassie e quasar, che avrebbero sviluppato al loro centro degli SMBH. Semi del genere potrebbero anche spiegare l'esistenza dei buchi neri di massa intermedia che hanno fra 1000 e un milione di masse solari, osservati in orbita attorno agli SMBH e al centro degli ammassi globulari di stelle. In breve, i buchi neri primordiali possono essere il collegamento mancante tra buchi neri convenzionali, di massa analoga alle stelle, e SMBH. Si stanno accumulando osservazioni a favore di questo scenario: le recenti rilevazioni di sorgenti di raggi X inaspettatamente frequenti nel cosmo delle origini si spiegano con un gran numero di buchi neri primordiali che producono raggi X mentre si ingozzano di gas, meno di un miliardo di anni dopo il big bang.

Vedere al buio

Sebbene i grandi buchi neri primordiali possano risolvere il mistero della materia oscura e molti altri problemi di lunga data della cosmologia, la partita non è ancora finita. Sono ancora possibili altri modelli e spiegazioni, e le osservazioni future dovrebbero permetterci di scegliere tra le alternative. Proprio nei prossimi anni varie osservazioni potrebbero mettere alla prova lo scenario dei buchi neri primordiali (*si veda il box nella pagina a fronte*), tra cui la rilevazione di galassie nane fiochissime, l'influenza degli enormi buchi neri primordiali sulle posizioni delle stelle nella Via Lattea, la mappatura dell'idrogeno neutro durante la prima epoca di formazione delle stelle e lo studio delle distorsioni nel fondo cosmico a microonde.

Oltre a questi esperimenti abbiamo uno strumento nuovo per svelare i misteri del cosmo: Advanced LIGO e altri rivelatori di onde gravitazionali. LIGO ha rilevato la fusione di due elementi di una popolazione nascosta di grossi buchi neri primordiali; possiamo aspettarci che nei prossimmi anni se ne rileveranno molte altre. Nel giugno 2016 Advanced LIGO ha annunciato un secondo rilevamento di onde gravitazionali, emesse nella fusione di due buchi neri di 14 e 8 masse solari, e un possibile indizio di un'altra fusione di buchi neri di 23 e 13 masse solari. Mentre concludevamo l'articolo è stata annunciata la rilevazione di altri sei eventi di fusione. Queste osservazioni fanno ritenere che i buchi neri binari siano più frequenti del previsto e abbiano un'ampia distribuzione delle masse, in accordo con il nostro scenario di enormi buchi neri primordiali.

Questi nuovi esperimenti e osservazioni potrebbero confermare l'esistenza dei buchi neri primordiali e il loro possibile legame con la materia mancante dell'universo. Presto non saremo più all'oscuro sulla materia oscura. ■

PER APPROFONDIRE

Density Perturbations and Black Hole Formation in Hybrid Inflation. García-Bellido J., Linde A. e Wands D., in «Physical Review D», Vol. 54, n. 10, pp. 6040-6058, 15 novembre 1996.

The OGLE View of Microlensing towards the Magellanic Clouds: IV. OGLE-III SMC Data and Final Conclusions on MACHOs. Wyrzykowski L. e altri, in «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», Vol. 416, n. 4, pp. 2949-2961, 1° ottobre 2011.

Massive Primordial Black Holes from Hybrid Inflation as Dark Matter and the Seeds of Galaxies. Clesse S. e García-Bellido J., in «Physical Review D», Vol. 92, n. 2, articolo n. 023524, 15 luglio 2015.

LIGO Gravitational Wave Detection, Primordial Black Holes, and the Near-IR Cosmic Infrared Background Anisotropies. Kashlinsky A., in «Astrophysical Journal Letters», Vol. 823, n. 2, articolo n. L25, 1 giugno 2016.

The Clustering of Massive Primordial Black Holes as Dark Matter: Measuring Their Mass Distribution with Advanced LIGO. Clesse S. e García-Bellido J., in «Physics of the Dark Universe», Vol. 15, pp. 142-147, marzo 2017.

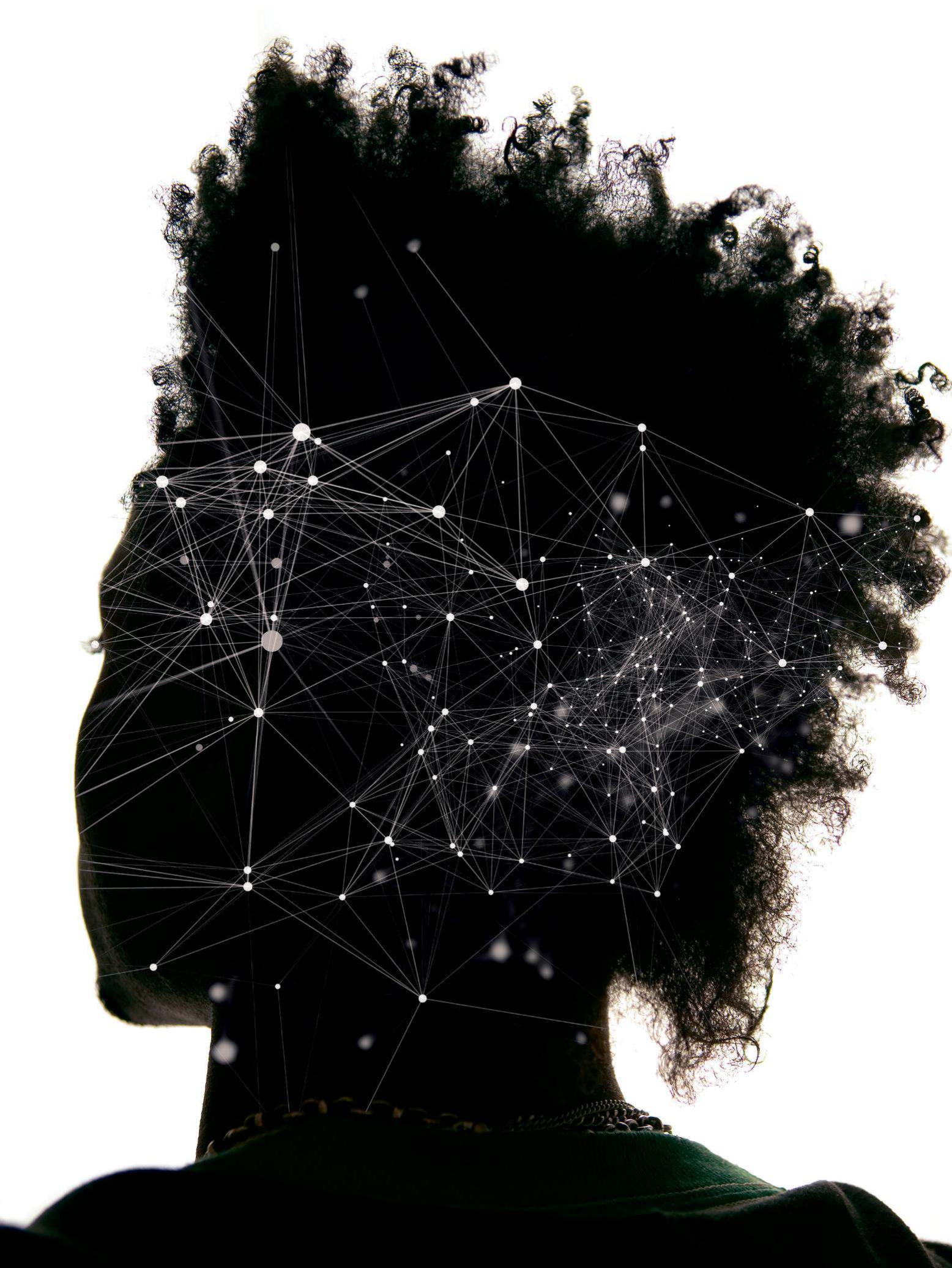
Il mistero del cosmo nascosto. Dobrescu B.A. e Lincoln D., in «Le Scienze» n. 565, settembre 2015.

NEUROSCIENZE

La trama dei ricordi

Una rivoluzione tecnica permette di capire come il cervello collega i ricordi, un processo decisivo nel plasmare il nostro modo di conoscere il mondo circostante

di Alcino J. Silva

Andreas Kuehn Getty Images (*testa*); Getty Images (*network*)

Alcino J. Silva è *Distinguished Professor* e direttore del Center for Learning and Memory all'Università della California a Los Angeles. Il suo laboratorio studia i meccanismi della memoria e le cause e i trattamenti dei disturbi di memoria.

I nostri ricordi dipendono dalla capacità che abbiamo di rievocare i dettagli del mondo, come il volto di un bambino, un'anatra, un lago. Tuttavia per trasformarli in esperienze reali il cervello deve in qualche modo fondere questi singoli elementi in una totalità integrata: l'espressione sul volto del bambino quando vede uno stormo d'anatre spiccare d'improvviso il volo da un canneto a bordo lago.

Un senso coerente della memoria si affida anche ad altri fattori. La nostra sopravvivenza è dipesa nei millenni dalla capacità di rievocare non soltanto la giusta informazione – è un leone o un serpente? – ma anche il contesto: abbiamo incontrato l'animale in un confronto a sorpresa su un tratto isolato di savana africana o durante una tranquilla visita allo zoo?

Per stare alla larga da altri generi di predatori nella nostra vita quotidiana dobbiamo anche saper collegare i ricordi nel tempo: giudicare se un investimento che sembra invitante merita di essere perseguito dipende dalla fonte del consiglio, per esempio dall'onestà della persona che ce l'ha suggerito. L'incapacità di collegare le due cose può avere conseguenze disastrose.

I neuroscienziati stanno cominciando a capire in che modo il nostro cervello collega i ricordi nella vasta distesa spaziale e temporale. Fino a oggi, la stragrande maggioranza degli studi si è concentrata su come acquisiamo, archiviamo, rievochiamo e modifichiamo i singoli ricordi. Tuttavia, per buona parte i ricordi non sono entità singole, isolate. Piuttosto, una reminiscenza evoca la successiva, stabilendo sequenze intricate di ricordi che ci aiutano a prevedere e a comprendere meglio il mondo intorno a noi.

I meccanismi fondamentali che il cervello usa per generare questi ricordi collegati cominciano a essere rivelati, dopo vent'anni di ricerche nel nostro e in altri laboratori. Capire i processi fisici implicati nell'intreccio dei singoli ricordi non si limiterà a darci indicazioni sul funzionamento del cervello, ma un giorno potrebbe aiutarci a prevenire i disturbi di memoria che interferiscono con la nostra capacità di legarli insieme.

Una coincidenza fortuita

Sul finire degli anni novanta, quando abbiamo cominciato gli studi sui collegamenti dei ricordi, ci mancavano gli strumenti e la conoscenza di base necessari per affrontare l'argomento. Un primo passo decisivo nel determinare come si intrecciano i ricordi è stata la nostra scoperta di un concetto, la cosiddetta *allocazione dei ricordi*, ossia la consapevolezza che il cervello usa regole specifiche per assegnare bit di informazione appresa a gruppi discreti di neuroni in regioni del cervello coinvolte nella formazione dei ricordi.

Un ruolo decisivo nella scoperta dell'allocazione dei ricordi l'ha svolto una felice coincidenza. Tutto è cominciato da una conversazione tra me e l'amico e collega Mike Davis, oggi alla Emory University, durante una visita alla Yale University nel 1998. Mike condivise con me i risultati di studi in cui aveva manipolato un gene, conosciuto come *CREB*, per aumentare la memoria emotiva nei topi, per esempio l'associazione tra un suono e una scossa elettrica. In precedenza il mio laboratorio e altri gruppi di ricerca avevano dimostrato che il gene *CREB* era necessario per stabilizzare i ricordi. Il gene *CREB* riesce nel compito codificando una proteina che regola l'espressione di altri geni necessari per la memoria. Durante l'apprendimento alcune sinapsi (gli spazi attraverso cui comunicano i neuroni) sono formate in modo da poter essere rinforzate. In questo processo la proteina CREB attivata agisce da architetto molecolare. Senza il suo aiuto, buona parte delle esperienze sarebbe presto dimenticata.

La cosa per me sorprendente fu che il gruppo di Davis era capace di incrementare la memoria benché i livelli di CREB fossero

IN BREVE

Le ricerche sulla memoria stanno vivendo una rivoluzione: nuove tecnologie visualizzano l'attività di singoli neuroni e addirittura attivano e disattivano le cellule in istanti precisi, permettendo ai neuroscienziati di eseguire esperimenti considerati fantascientifici anche solo pochi anni fa.

Nuove tecnologie hanno dimostrato che i ricordi non sono assegnati in modo casuale ai neuroni nelle regioni cerebrali coinvolte nell'elaborazione e nell'archiviazione delle informazioni. Invece, meccanismi specifici determinano quali cellule contribuiscono ad archiviare un certo ricordo.

La capacità del cervello di controllare quali neuroni codificano quali ricordi è decisiva per rafforzarli e per collegarli, fattori che degenerano in molti disturbi neuropsichiatrici e nel declino cognitivo legato all'età.

aumentati in un piccolo sottoinsieme soltanto della popolazione complessiva di neuroni dell'amigdala, una regione cerebrale decisiva per la memoria emotiva. La domanda che mi sono portato dietro per mesi dopo la mia visita a Yale è stata: come ha fatto la memoria a finire nelle poche cellule in cui poteva giovarsi dei livelli superiori della proteina CREB? Forse la CREB attivata non solo orchestrava la stabilizzazione dei ricordi, ma contribuiva anche a garantire che cellule con la CREB attivata avessero più probabilità di essere coinvolte nella formazione dei ricordi?

Nelle nostre indagini sulla CREB ci siamo concentrati sulla sua funzione in specifiche regioni cerebrali che sapevamo coinvolte nella memoria: l'amigdala, che è decisiva nella rievocazione di ricordi emotivi, e l'ippocampo, che fra l'altro archivia una mappa interiorizzata dell'ambiente circostante.

La scienza riguarda tanto la scoperta di domande quanto la risposta che diamo loro. La conversazione con Davis mi aiutò a realizzare che i neuroscienziati ne sapevano poco delle regole, ammesso ve ne siano, di come un ricordo è distribuito in ciascuna delle regioni cerebrali che elaborano e archiviano i nostri ricordi.

La prima grande svolta è arrivata dopo che reclutammo la neuroscienziata Sheena Josselyn, che aveva studiato la CREB nel laboratorio di Davis. In una serie di esperimenti con gli animali da lei svolti nel mio laboratorio, e successivamente con i colleghi del proprio laboratorio all'Università di Toronto, Sheena aveva usato un virus per introdurre copie in eccesso di CREB in neuroni specifici dell'amigdala di topo. Aveva dimostrato che la probabilità di quei neuroni di archiviare un ricordo legato alla paura era quattro volte superiore rispetto ai neuroni vicini.

Nel 2007, dopo quasi dieci anni di lavoro, il mio laboratorio e quello di Josselyn hanno finalmente pubblicato le prove che i ricordi emotivi non sono assegnati in modo casuale ai neuroni dell'amigdala, ma che le cellule scelte per archiviare quei ricordi sono quelle dotate di una maggiore quantità della proteina CREB. E, cosa non meno importante, altri esperimenti hanno dimostrato che la CREB svolge una funzione simile in altre regioni del cervello, tra cui l'ippocampo e la corteccia, lo strato più esterno.

Accendere e spegnere i ricordi

Per confermare il ruolo di CREB nell'allocazione dei ricordi abbiamo fatto ricorso a metodi sviluppati pochi anni fa e che hanno trasformato lo studio della memoria. Queste tecniche di laboratorio permettono di attivare o disattivare neuroni, e quindi di evocare un ricordo oppure di smorzarlo.

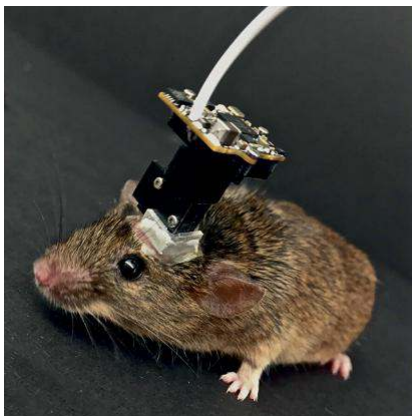
A titolo di esempio, Yu Zhou, all'epoca nel mio laboratorio, ha modificato geneticamente un piccolo insieme di neuroni dell'amigdala di topo affinché avessero livelli superiori di CREB ed esprimessero un'altra proteina, creata nel laboratorio di Ed Callaway al Salk Institute for Biological Studies di La Jolla, in California. Queste manipolazioni ci permettevano di silenziare i neuroni nel momento in cui lo decidevamo noi. Quando disattivavamo i neuroni che avevano livelli elevati di CREB, lasciando ancora attivi i neuroni corrispondenti che avevano, però, livelli inferiori della proteina, la memoria emotiva veniva soppressa: un risultato convincente, che dimostra come neuroni con quantità maggiori di CREB sono coinvolti nell'archiviazione dei ricordi.

Sapevamo che quantità maggiori di CREB potevano determinare quali cellule archiviavano un determinato ricordo, ma non come accadesse. Robert Malenka e colleghi, della Stanford University, avevano scoperto che sostanze di abuso attivavano la CREB in particolari neuroni e aumentavano l'eccitabilità di quelle cellule (si attivavano più facilmente). Quell'aumento poteva forse spiegare perché i neuroni con livelli superiori di CREB erano scelti per archiviare i ricordi? Per affrontare la questione, Zhou ha modificato i neuroni dell'amigdala affinché producessero una quantità maggiore di CREB. Usando minuscoli microelettrodi, ha misurato con quanta facilità erano attivati quei neuroni, una misura di eccitabilità. I risultati hanno confermato che i neuroni modificati erano attivati più facilmente dei neuroni equivalenti non modificati. L'aumento di eccitabilità (e la maggiore prontezza a ricevere e a trasmettere impulsi elettrici che trasferiscono informazioni tra i neuroni) suggeriva che le cellule potrebbero essere state più predisposte ad avviare la serie di processi necessari per depositare un ricordo.

Un microscopio montato sulla testa di un topo permette ai ricercatori di esaminare l'attività delle cellule nervose in cui sono archiviati i ricordi.

Cortesia Denise J. Cai Integrative Center for Learning and Memory, University of California, Los Angeles

Per verificare questa teoria, Zhou ha osservato anche le connessioni sinaptiche che coinvolgevano neuroni con quantità maggiori di CREB. Un insieme notevole di prove ha dimostrato che aumenti di forza delle connessioni sinaptiche sono decisivi nella formazione dei ricordi. Dopo avere addestrato i topi a un compito che evocava in seguito memorie emotive, Zhou ha verificato la forza delle connessioni sinaptiche di neuroni dell'amigdala con livelli di CREB superiori per vedere se avevano connessioni più forti rispetto a cellule che non erano state modificate per produrre più CREB. A questo scopo ha stimolato le sinapsi di queste cellule con una debole corrente elettrica e ne ha registrato le risposte con minuscoli elettrodi immersi al loro interno. Come ci si aspettava, i neuroni dell'amigdala con livelli superiori di CREB avevano sinapsi più forti di altre cellule, un risultato compatibile con l'ipotesi che avessero archiviato più probabilmente la memoria emotiva.

In un lavoro ancora più recente, il laboratorio di Josselyn ha dimostrato che il ricordo di un'esperienza legata alla paura può essere archiviato in un insieme predeterminato di neuroni dell'amigdala, dopo averli modificati geneticamente con un tipo specifico di canale ionico che aumenta l'eccitabilità di questi neuroni. I canali ionici formano pori sulla superficie delle cellule, e i particolari canali scelti da Josselyn permettevano alle cellule di essere attivate più facilmente. In modo analogo, un neuroscienziato del laboratorio di Albert Lee allo Janelia Research Campus dello Howard Hughes Medical Institute di Ashburn, in Virginia, ha riferito che aumentare artificialmente l'eccitabilità di neuroni dell'ippocampo mentre gli animali si spostavano lungo un percorso ad anello aumentava la probabilità che rispondessero a una particolare posizione sul percorso. Era un risultato coerente con i nostri dati secondo cui l'eccitabilità ha ruolo essenziale nel determinare quali cellule sono coinvolte nell'archiviare un particolare ricordo.

Infine, il nostro gruppo e quello di Josselyn hanno beneficiato di una tecnologia rivoluzionaria, chiamata optogenetica, che usa la luce per attivare e inibire i neuroni. Abbiamo sfruttato questa tecnica per attivare specifici neuroni che avevano livelli maggiori di CREB. Thomas Rogerson e Balaji Jayaprakash, all'epoca entrambi nel mio laboratorio, hanno cominciato modificando geneticamente neuroni dell'amigdala affinché producessero maggiori quantità di CREB e di canalrodopsina-2 (ChR2), un canale ionico attivato dalla luce blu. Abbiamo poi dimostrato che potevamo attivare artificialmente il richiamo di un ricordo pauroso nei topi quando usavamo la luce per attivare neuroni dell'amigdala con livelli di CREB maggiori, ma non neuroni con livelli inferiori della proteina. Era la conferma che il ricordo era archiviato in quei neuroni.

Collegare i ricordi

Nel 2009 mi chiesero di scrivere un articolo riguardante le nostre ricerche sulla memoria. Così ho colto l'occasione per presentare le nostre teorie su come i ricordi si collegano nel tempo. La capacità di CREB di regolare quali cellule formano un determinato ricordo – in altre parole l'allocazione dei ricordi – mi ha suggerito l'ipotesi che questo processo potrebbe essere decisivo per la capacità di collegare ricordi separati, ipotesi che nel mio laboratorio abbiamo chiamato «allocare-per-collegare». Poiché l'allocazione dei ricordi avviene in un sottoinsieme di neuroni che hanno livelli maggiori di CREB, e che sono attivati più facilmente, questo processo predispone quelle cellule ad archiviare prontamente un secondo ricordo. Quando hanno in comune molti neuroni, due ricordi sono formalmente collegati.

Di conseguenza, l'attivazione di questi neuroni durante la rievocazione di uno dei due ricordi stimola la rievocazione dell'altro. Fondamentale per la teoria era la previsione che due ricordi più vicini nel tempo – formati entrambi entro l'arco di un giorno – hanno più probabilità di essere collegati rispetto a quando sono separati da periodi più lunghi. Con intervalli molto più lunghi di un giorno, il secondo ricordo non trae più vantaggio dall'eccitabilità avviata dal primo ricordo, e viene quindi archiviato in una popolazione di neuroni differente. La natura limitata nel tempo del collegamento dei ricordi ha un senso. Infatti, eventi che accadono nell'arco di uno stesso giorno sono probabilmente molto più rilevanti l'uno per l'altro rispetto a eventi separati da una settimana.

Scrivere l'articolo e abbozzare queste teorie mi ha stimolato ancora di più ad affrontare la sfida di come avremmo potuto verificarle. L'ipotesi allocare-per-collegare era intuitiva, ma non era per nulla chiaro come ne avremmo confermato la legittimità. La verifica avrebbe dovuto attendere il momento giusto.

La situazione cambiò quando Denise Cai e Justin Shobe si unirono al progetto. Cai ebbe un'idea brillante. Lei e Shobe fecero familiarizzare alcuni topi con due gabbiette durante lo stesso giorno, a distanza di cinque ore. Si auguravano che i ricordi delle due gabbie si sarebbero collegati. In seguito Denise somministrò ai roditori una lieve scossa alle zampe nella seconda gabbietta. Come era prevedibile, quando in seguito collocò i topi nella gabbia dove avevano ricevuto la scossa, i roditori si bloccarono, presumibilmente perché ricordavano che lì avevano ricevuto una scossa. I topi si bloccano come reazione naturale alla paura perché buona parte dei predatori percepisce meglio la preda quando si muove.

Il risultato decisivo scaturì quando Cai e Shob collocarono i topi nella gabbia neutra. In base al nostro ragionamento, se i ricordi di entrambe le gabbie erano collegati i topi nell'ambiente neutro si sarebbero ricordati di avere ricevuto la scossa nell'altra gabbia, e di conseguenza si sarebbero bloccati come da previsione. Ed è proprio ciò che abbiamo scoperto.

Abbiamo anche ipotizzato che i due ricordi sarebbero stati probabilmente meno connessi se fossero stati separati da un intervallo di sette giorni. In effetti, facendoli familiarizzare un'altra volta con la gabbia neutra dopo un intervallo più lungo, gli animali non ricordavano della gabbia della scossa e non si bloccavano. In generale, per intervalli temporali molto più lunghi di un giorno i ricordi restano scollegati.

Questi risultati comportamentali furono entusiasmanti. Tuttavia non verificavano una previsione essenziale dell'ipotesi, ossia che ricordi discreti formati in intervalli ravvicinati sono archiviati nella stessa area del cervello in popolazioni di neuroni sovrapposte. La sovrapposizione fisica collega i due ricordi, per cui la rievocazione del primo riporta alla mente il secondo.

Visualizzare i ricordi

Verificare realmente l'ipotesi allocare-per-collegare richiederebbe niente meno che la capacità di vedere i ricordi nel cervello mentre si producono. Le tecniche per visualizzare i neuroni nei topi in vivo sono già in uso, ma richiedono che la testa degli animali sia fissata a grossi microscopi, un'attrezzatura sfavorevole ai test comportamentali necessari per verificare l'ipotesi.

Trovo peraltro sorprendente quante volte nella mia carriera la tecnica giusta è comparsa proprio quando era vitale per noi. Mi capitò di partecipare a un seminario all'Università della California a Los Angeles (UCLA), tenuto da Mark Schnitzer, di Stanford, che descriveva un minuscolo microscopio che avevano appena inventato nel suo laboratorio e che visualizzava l'attività dei neuroni in topi liberi di muoversi. Questo microscopio, che pesa dai due ai tre grammi, può essere montato a mo' di copricapo sull'animale. Lo strumento era esattamente ciò di cui il nostro gruppo aveva bisogno per individuare i neuroni attivati da un certo ricordo. Ci permetteva di determinare se quegli stessi neuroni si attivavano poche ore dopo in presenza di un altro ricordo, una previsione essenziale dell'ipotesi allocare-per-collegare.

Fummo così entusiasti dalla promessa di questa meravigliosa invenzione che decidemmo di progettare la nostra versione del microscopio. Facemmo squadra con i laboratori di Peyman Golshani e di Baljit Khakh, entrambi alla UCLA, e insieme reclu-

I ricordi formati a breve distanza di tempo sono conservati nella stessa area e in popolazioni sovrapposte di neuroni

tammo Daniel Aharoni, un borsista di talento che avrebbe progettato i miniscopi della UCLA, come li avremmo poi chiamati. Simili ai microscopi di Schnitzer, i nostri miniscopi erano dotati di una lente che si poteva inserire vicino alle cellule cerebrali che volevamo registrare. Lo strumento era applicato a una piastra fissata al cranio dell'animale, che lo manteneva stabile durante gli esercizi di addestramento e i test di memoria. E se da un lato avevamo adottato tecniche da altri ricercatori, dall'altro per noi fu un grande piacere condividerle. Siamo ferventi sostenitori del movimento *open source* nella scienza, perciò abbiamo messo a disposizione i nostri progetti e il software dei miniscopi della UCLA a centinaia di altri gruppi nel mondo.

Per visualizzare l'attività di neuroni con il miniscopio, Cai e il suo collega Tristan Shuman si sono avvalsi di una tecnica di visualizzazione che modifica geneticamente un animale affinché i neuroni emettano luce fluorescente quando i livelli di calcio aumentano nelle cellule: è conosciuta come indicatore di calcio geneticamente modificato. Abbiamo deciso di concentrarci sulla regione CA1 dell'ippocampo a causa del suo ruolo nell'imparare e nel ricordare i luoghi, come le gabbiette che abbiamo usato nei nostri esperimenti comportamentali. I topi con indosso i loro miniscopi «copricapo» sono stati collocati nelle due gabbiette. Volevamo sapere se l'intervallo temporale tra la familiarizzazione con le differenti gabbie influenzava i tipi di neurone che si attivavano.

I risultati sono stati superiori alle attese! In sostanza, il nostro miniscopio e gli esperimenti comportamentali mostravano che quando i topi collegavano i ricordi delle due gabbie molti neuroni di CA1 che si erano attivati quando gli animali avevano fatto un giro nella prima gabbia venivano attivati anche quando esploravano la seconda gabbia. Se l'intervallo tra le esplorazioni era di circa cinque ore, i topi formavano due ricordi in un gruppo simile di neuroni. Quando il lasso temporale aumentava a sette giorni, questo schema di attivazione sovrapposto non compariva.

Eravamo felici di questa scoperta, perché confermava una premessa fondamentale dell'ipotesi allocare-per-collegare: i ricordi si accoppiano quando sono archiviati in popolazioni di neuroni sovrapposte. Se, in seguito, riattivate un insieme di neuroni formato per entrambi i ricordi, esso stimolerà l'altro insieme e ne faciliterà il richiamo.

Etichettare i ricordi

Per confermare ulteriormente i risultati con il miniscopio, Cai ha adottato un altro metodo, sviluppato dal neuroscienziato Mark Mayford, oggi all'Università della California a San Diego. Questo esperimento prevedeva la tecnica di Mayford, chiamata sistema TetTag (da *tet*racycline *tag*, etichetta di tetraciclina). Quando un ricordo si forma durante l'esplorazione di una gabbietta, TegTag etichetta i neuroni attivati nei topi transgenici con un marcatore fluorescente che rimane intatto per settimane.

Gli studi *post mortem* sugli animali possono poi permettere di confrontare i neuroni attivati di recente – marcati da geni che sono espressi immediatamente dopo la formazione del ricordo – con i neuroni marcati da etichette di lunga durata. Questo passaggio identifica non solo i neuroni attivati da un singolo evento – nel qual caso un neurone esibisce una singola etichetta fluorescente – ma anche i neuroni attivati da due eventi: il bagliore di entrambe le etichette.

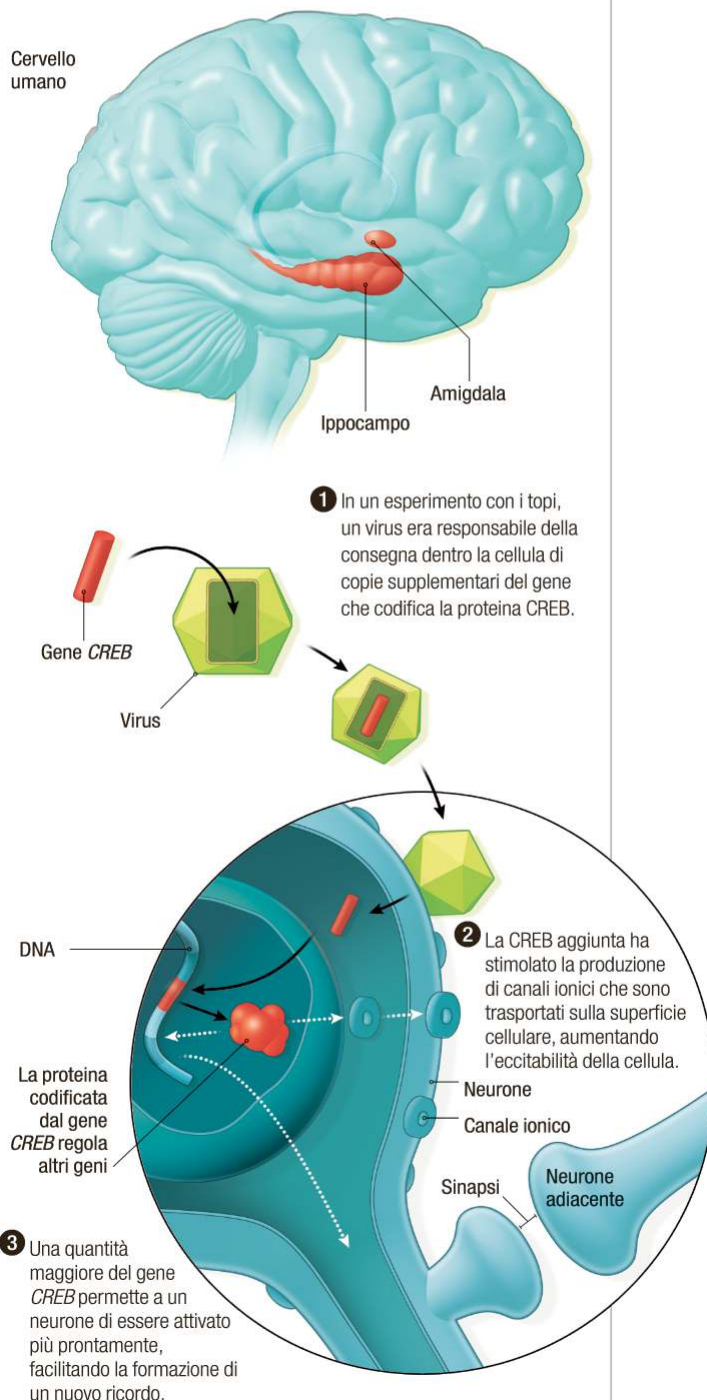
Usando la stessa configurazione sperimentale di prima, Cai e il suo team hanno dimostrato che durante un intervallo più breve di cinque ore la sovrapposizione tra i neuroni codificanti ciascuno

LA PROTEINA DECISIVA

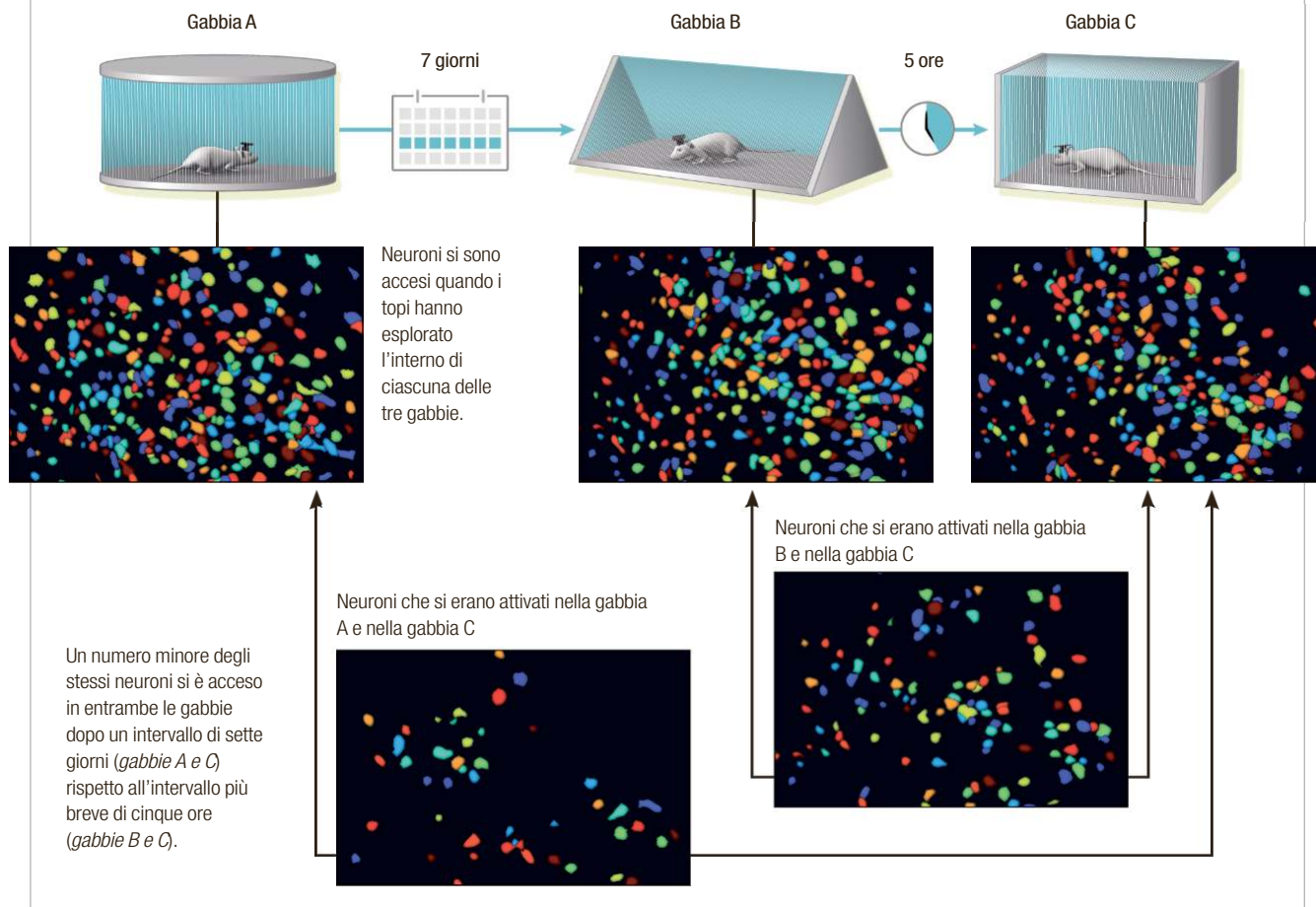
Generatori di memorie

Regioni cerebrali decisive hanno un ruolo nella formazione dei ricordi. L'amigdala è essenziale per i ricordi che comportano un contenuto emotivo, e l'ippocampo è coinvolto nel creare ricordi di esperienze. Il mio laboratorio ha eseguito un esperimento con i topi che ha dimostrato come alcune cellule, nelle quali il mio gruppo di ricerca aveva aumentato i livelli di una proteina detta CREB, avevano più probabilità di codificare un ricordo.

Tami Tolpa

UN TEST PER LE MEMORIE «PROUSTIANE»

Ricordo di cose passate (collegate)

Il «momento proustiano» – quando una rievocazione genera la successiva – ha oggi un solido fondamento neuroscientifico. Esperimenti hanno dimostrato che un topo indotto a familiarizzarsi con due gabbiette – poniamo B e C – le collega nella sua memoria se vi viene esposto con un intervallo di cinque ore. Ma un topo non ricorda le gabbie A e C insieme se il periodo di tempo è di sette giorni. Il richiamo collegato delle gabbie B e C avviene perché molti degli stessi neuroni usati per archiviare i ricordi delle due gabbie si attivano allo stesso tempo, a differenza di quelli per le gabbie A e C.

Da *A Shared Neural Ensemble Links Distinct Contextual Memories Encoded Close in Time*, di Denise J. Cai et al., in «Nature», Vol. 534; 2 giugno, 2016 (*neuroni*)

dei due ricordi con doppie etichette era significativamente maggiore di quanto fosse prevedibile in base al caso. Nell'intervallo di sette giorni, la sovrapposizione tra le due esperienze non era significativamente superiore al caso.

Altri esperimenti del team di Josselyn a Toronto hanno fornito ulteriori prove della validità della nostra ipotesi del collegamento tra ricordi. Il suo gruppo non solo ha eseguito una versione differente dell'esperimento di etichettatura neuronale, ma ha anche trovato prove comportamentali indipendenti del collegamento tra i ricordi. I ricercatori di Toronto avevano ipotizzato che, se popolazioni di neuroni codificanti due ricordi si sovrappongono, aumenti dei livelli di CREB stimolati dal primo ricordo rinforzerebbero anche un secondo ricordo. Ma invece di aiutare i topi a familiarizzare con luoghi differenti, come nel nostro lavoro, il team di Josselyn ha addestrato gli animali a imparare a riconoscere due suoni differenti. L'addestramento al primo suono aveva rinforzato la memoria di un secondo suono se le due sessioni di addestramento avvenivano da 1,5 a 6 ore dopo, ma non da 18 a 24 ore dopo.

Recentemente Kaoru Inokuchi e colleghi, dell'Università di Toyama, in Giappone, sono andati ancora un passo oltre con la loro analisi. Hanno usato l'optogenetica per disattivare il gruppo di cellule che era condiviso dai due ricordi emotivamente differenti, senza perturbare le altre cellule, incluse quelle che erano esclusive di ciascuno dei due ricordi. I ricercatori hanno mostrato che, disattivando le cellule comuni, erano in grado di interrompere il collegamento tra i due ricordi senza influenzare il richiamo di ciascun singolo ricordo. Questo elegante esperimento ha fornito la prova diretta che i neuroni condivisi dai due ricordi sono decisivi nel collegamento dei ricordi. Si è inoltre aggiunto al novero di laboratori che hanno offerto prove indipendenti a favore della nostra neonata ipotesi allocare-per-collegare.

Migliorare la memoria con l'età

Come passo successivo abbiamo deciso di studiare il collegamento dei ricordi in topi più anziani. Se confrontati con i topi giovani, i roditori più anziani hanno livelli inferiori di CREB nel cervello, inclusi i neuroni dell'area CA1 dell'ippocampo, e di

Capire come i ricordi si collegano tra loro potrebbe portare a trattamenti per i problemi di memoria tipici di molti disturbi psichiatrici

conseguenza una minore eccitabilità. Forti di questa conoscenza, abbiamo predetto che i topi anziani avrebbero avuto difficoltà nel collegare i ricordi. Così Cai e colleghi hanno deciso di ripetere molti degli stessi esperimenti che noi avevamo già completato in animali più anziani. I risultati ci sorpresero. Gli scienziati esperti sanno che le ipotesi sono solo strumenti: non ci aspettiamo che siano necessariamente giuste. Gli inevitabili insuccessi ci aiutano cammin facendo a ridare forma alle nostre idee. Ma quella volta le nostre intuizioni si sono rivelate corrette.

Ricordo ancora quando Cai irruppe trafelata nel mio ufficio, raccontandomi che i topi di mezza età, che pure ricordavano ciascuna singola gabbia, avevano invece problemi a collegare i ricordi persino quando le avevano esplorate a cinque ore di distanza, un intervallo che non presentava difficoltà per i topi più giovani. Al confronto con le immagini dei topi adulti giovani, quelle ricavate con il miniscope negli animali più anziani rivelavano una mancanza di sovrapposizione tra i ricordi archiviati.

Eravamo entrambi entusiasti, ma anche scettici. Così siamo ripartiti da capo e abbiamo ripetuto gli esperimenti. La seconda volta i risultati sono stati ancora più convincenti. I neuroni in topi di mezza età con livelli inferiori di CREB non collegavano i ricordi con la stessa facilità dei topi giovani.

Questi risultati ci hanno incoraggiato ad ampliare la portata della nostra indagine. Avremmo forse potuto aumentare artificialmente l'eccitabilità di un sottoinsieme di neuroni di CA1 proprio quando i topi più anziani esploravano le due gabbie, garantendo che alcuni dei neuroni di CA1 attivati in una gabbia si accendessero anche quando gli animali si spostavano nella seconda?

A questo scopo ci siamo avvalsi di una tecnica rivoluzionaria che modifica geneticamente i recettori sulla superficie di una cellula, permettendo il controllo della sua funzione. Come espediente mnemonico, la tecnica è designata con l'acronimo tecnologico DREADD (*Designer Receptors Exclusively Activated by Designer Drugs*, recettori su misura attivati da sostanze su misura). Attivare i recettori DREADD ci ha permesso di attivare lo stesso sottoinsieme di neuroni mentre gli animali esploravano entrambe le gabbie, generando un legame tra i loro ricordi dei due ambienti chiusi.

Devo confessare che in un primo tempo l'idea di questo esperimento sembrava improbabile. Le ragioni per cui avrebbe potuto fallire sono numerose. Per cominciare, i ricordi dei luoghi coinvolgono milioni di neuroni sparsi in molteplici regioni cerebrali interconnesse, e non solo la regione CA1. L'invecchiamento avrebbe potuto colpire i processi di collegamento dei ricordi in molte di queste aree, se non in tutte. Perciò, persino se fossimo riusciti ad aumentare l'eccitabilità in un sottoinsieme di neuroni della regione CA1, queste cellule avrebbero potuto non essere quelle giuste. Non solo, avremmo potuto non scatenare i giusti livelli di eccitabilità.

Ma l'esperimento funzionò. Il segreto di questo tipo di prove disperanti è bilanciare l'investimento in tempo e in denaro con la potenziale ricompensa futura. Nondimeno, in questo caso posso tranquillamente dire che la fortuna ci sorrise. Ristabilendo aumenti di eccitabilità in un sottoinsieme specifico di neuroni di CA1 di topi di media età siamo riusciti ad allocare i due ricordi in molti degli stessi neuroni di CA1 e quindi a ristabilire il collegamento dei ricordi in questi topi di media età.

Ricerche di altri laboratori – sia sui roditori sia sull'uomo – hanno anche chiarito come un ricordo si può intrecciare con un altro. Howard Eichenbaum, neuroscienziato all'Università di Boston, ha dimostrato che i topi riescono a trovare collegamenti tra ricordi che hanno un contenuto in comune. Alison Preston, neuroscienziata dell'Università del Texas ad Austin, ha dimostrato con i colleghi che quando i ricordi condividono il contenuto le persone li collegano più facilmente. Rievocare l'uno rievocherà probabilmente l'altro.

L'arsenale crescente di strumenti a nostra disposizione per misurare e controllare l'attività neurale sta pian piano svelando i meccanismi usati dal cervello per organizzare l'informazione. Il nostro team sta cercando di ampliare questo lavoro seguendo nuove strade. Insieme con la neuroscienziata Panayiota Poirazi, dell'Istituto Hellas di biologia molecolare e biotecnologie, in Grecia, stiamo realizzando modelli al computer per simulare come e quando i ricordi si collegano. Stiamo anche cercando di decifrare i meccanismi che controllano gli intervalli temporali necessari per collegare i ricordi in strutture cerebrali differenti.

Diversi esperimenti ad ampio spettro eseguiti da molteplici laboratori sono finora decisamente favorevoli all'ipotesi allocare-per-collegare. Ci auguriamo che la conoscenza del modo in cui si intrecciano i ricordi possa aiutarci a sviluppare trattamenti per i problemi di memoria comuni in un'ampia fascia di disturbi psichiatrici: dal declino cognitivo legato all'invecchiamento, alla schizofrenia, alla depressione e al disturbo bipolare. Implicazioni cliniche a parte, gli studi che abbiamo descritto riflettono un'epoca nuova ed entusiasmante per le ricerche sulla memoria, in cui gli esperimenti che eseguiamo non sono più limitati dalle tecniche a nostra disposizione ma dai territori verso cui saprà spingersi la nostra immaginazione. ■

PER APPROFONDIRE

Synaptic Tagging during Memory Allocation. Rogerson T. e altri, in «Nature Reviews Neuroscience», Vol. 15, n. 3, pp. 157-169, marzo 2014.

Memory Integration: Neural Mechanisms and Implications for Behavior. Schlichting M. L. e Preston A. R., in «Current Opinion in Behavioral Sciences», Vol. 1, pp. 1-8, febbraio 2015.

Finding the Engram. Josselyn S. A. e altri, in «Nature Reviews Neuroscience», Vol. 16, n. 9, pp. 521-534, settembre 2015.

A Shared Neural Ensemble Links Distinct Contextual Memories Encoded Close in Time. Cai D. J. e altri, in «Nature», Vol. 354, pp. 115-118, 2 giugno 2016.

Competition between Engrams Influences Fear Memory Formation and Recall. Rashid A.J. e altri, in «Science», Vol. 353, pp. 383-387, 22 luglio 2016.

SPECIALE CITTÀ SOSTENIBILI

Le città che potrebbero salvarci

Se saranno progettate in modo da essere più sostenibili nello sfruttamento di energia, acqua, cibo e minerali, le aree urbane potranno migliorare sia il pianeta sia la vita delle persone

di William McDonough

IN BREVE

Per essere sostenibili, le città dovrebbero essere progettate secondo i principi di circolarità della natura, tra cui sfruttare a fondo la radiazione solare e trattare i rifiuti come una risorsa.

Strutture di nuova progettazione, come Park 20|20, nei Paesi Bassi, e Sustainability Base della NASA, in California, stanno aprendo la strada all'applicazione di questi principi.

Le «città positive» permettono di vivere e lavorare nella stessa zona, creando efficienza e promuovendo sicurezza, dignità e creatività.

Illustrazioni di Harry Campbell

William McDonough, architetto, è fra i pionieri della progettazione architettonica per lo sviluppo sostenibile. È il fondatore delle società William McDonough + Partners e McDonough Innovation e cofondatore del Cradle to Cradle Products Innovation Institute.

Le città ospitano oltre la metà della popolazione mondiale, ed esercitano una pressione crescente sulla Terra. Generano fino al 70 per cento delle emissioni globali di anidride carbonica, usano grandi quantità d'acqua e ne degradano la qualità, e producono montagne di rifiuti. Dove vanno le città, va il pianeta. E crescono, in fretta. Entro il 2030, secondo le ultime stime delle Nazioni Unite, 5 miliardi di persone vivranno nelle città, e quasi la metà di queste persone condurrà la propria vita in case, scuole, posti di lavoro e parchi che oggi non esistono ancora.

Sfide e difficoltà nel rendere le città il più possibile sostenibili sono enormi, ma anche entusiasmanti, perché le città possono avere un ruolo fondamentale nel trovare soluzioni per un mondo più sostenibile. Le città sono motori di innovazione ed energie imprenditoriali. Come dimostrano le reti dei loro amministratori, le città sono poi attori di grande rilievo, capaci di unire le forze, imporre i temi ambientali ed esercitare una leadership globale. Dalle grandi metropoli ai piccoli centri, sindaci e consigli comunali, investitori, economisti e urbanisti sono impegnati a rispondere alla pressante esigenza di ridisegnare dalle fondamenta gli elementi di base di città che crescono rapidamente. Il modo in cui ripenseranno e riprogetteranno il paesaggio urbano influenzerà il futuro della vita stessa sulla Terra.

Molte città stanno prendendo misure importanti per ridurre l'inquinamento di aria e acqua. Sono «meno cattive». Di per sé, però, l'efficienza non basta per un futuro positivo. Se le città riusciranno in più a diventare efficaci, a essere «più buone», per esempio riconvertendo i rifiuti in nutrienti per la produzione agricola, potranno darci l'impulso per un futuro come lo desideriamo, invece di limitarsi a ridurre gli impatti che non vogliamo. Più cose buone, non solo meno cose cattive.

Una chiara visione per ripensare la città e i suoi rapporti con le campagne circostanti può essere trovata nel modo in cui funziona il mondo naturale. In sostanza, i sistemi naturali funzionano grazie all'energia gratuita del Sole, che interagisce con i processi geochimici della Terra per sostenere sistemi biologici produttivi e rigenerativi. Sistemi umani che lavorino secondo le stesse leggi, incluse le città, possono avvicinarsi all'efficacia dei sistemi viventi.

Da queste leggi si possono estrarre tre principi chiave: trattare i rifiuti come alimenti; massimizzare l'uso della risorsa solare; apprezzare la diversità.

In natura non ci sono rifiuti, perché ogni organismo contribuisce alla salute del tutto. I fiori di un albero da frutta cadono a terra e si decompongono diventando cibo per altri esseri viventi. Batteri e funghi si nutrono dei rifiuti organici sia dell'albero sia degli animali che ne mangiano i frutti, depositando nel suolo nutrienti che l'albero può riprendere e convertire in crescita. I rifiuti di un organismo diventano nutrimento per un altro. I nutrienti fluiscono perpetuamente in cicli rigenerativi, da una culla a un'altra: cicli di nascita, decomposizione e rinascita. Il rifiuto è cibo.

Attualmente le nostre città sono fatte per flussi lineari. I nutrienti biologici (come alimenti e legname) e quelli tecnologici (come metalli e plastica) entrano da una parte, sono usati e poi gettati via. Dopo una selezione con cui si recuperano materiali di valore – come metalli, carta e certe plastiche – i rifiuti escono dall'altra parte, verso discariche o inceneritori. Il processo è: «prendere, fare, buttare». Ma come abbiamo riprogettato certi prodotti di consumo per poterli smontare e riciclare o riusare, possiamo progettare anche le città in maniera simile, circolare: prendere, fare, riprendere, rifare, restituire.

Un posto dove vivere

Nella città circolare, i rifiuti diventano risorse. Prendiamo le fognature. Nella città lineare, gli impianti di trattamento delle acque reflue depurano residui di cibo ed escrementi umani – anche dai minerali utili che contengono, come i fosfati – e liberano gli effluenti nei fiumi come inquinanti. Poi gli agricoltori acquistano fosfati in Marocco o in altri paesi lontani per farne fertilizzanti con cui far crescere altro cibo su suoli che hanno perduto questi minerali. Nella città circolare, gli impianti di depurazione diventano fabbriche di fertilizzanti. Carbonio, fosfati e azoto che fluiscono dall'impianto sono considerati potenziali aiuti per i terreni, non potenziali contaminanti per i fiumi vicini. La città circolare sfrutta le acque reflue per ricavarne fosfati e trasformarli in fertilizzanti per parchi, orti urbani sui tetti degli edifici e fattorie e boschi che ha intorno. Questo processo elimina la necessità di importare altri fosfati da posti lontani, e i consumi energetici e le emissioni di carbonio legati a estrazione e trasporto. Ostara Nutrient Recovery Technology di Vancouver, in Canada, è solo una delle tante società d'avanguardia che raccolgono un minerale chiamato struvite dai fanghi di scarico per usarlo come fertilizzante.

L'eliminazione del concetto di rifiuti si estende a tutti i sistemi, e dunque il progetto dei materiali in entrata nelle città circolari prevede l'«uso successivo», non il «fine vita». Nuove tecnologie, per esempio, permettono di trattare con profitto i microprocessori dei telefoni cellulari in impianti puliti che recuperano tutte le terre rare e i metalli preziosi per usarli in nuovi prodotti elettronici.

Un secondo principio chiave della natura, per quelle che potremmo chiamare città positive, è che tutta l'energia viene dal Sole, e talvolta, come a Reykjavík, in Islanda, dall'energia geotermica. Alberi e piante fabbricano cibo a partire dalla luce del Sole, un sistema elegante ed efficace che sfrutta l'unica fonte perpetua di

GRANDI NUMERI

Popolazione urbana nel mondo **55%**

5 miliardi

Persone che vivranno in città entro il 2030

Città degli Stati Uniti impegnate a usare il 100% di energie rinnovabili	*Percentuale degli abitanti che prende l'autobus a Curitiba, Brasile*
27	**85%**

Fonti: TFonti: *The World Cities in 2016: data booklet*, Nazioni Unite, 2016 (*popolazione urbana oggi e nel 2030*); Sierra Club (*città degli Stati Uniti impegnate per le fonti rinnovabili*); Low Carbon Green Growth Roadmap for Asia and the Pacific. Commissione economico-sociale delle Nazioni Unite per l'Asia e il Pacifico. Nazioni Unite, 2012 (*uso degli autobus a Curitiba, Brasile*)

energia in entrata della Terra. Gli edifici possono sfruttare la fonte solare sia convertendola direttamente in energia sia raccogliendo passivamente le radiazioni del Sole come calore e luce naturale. Anche i venti – flussi d'aria di origine termica alimentati dalla luce solare – possono essere imbrigliati. Insieme, da Sole, vento e geotermia si può generare a costi accettabili abbastanza energia da soddisfare le richieste di intere città e regioni, e anche di intere nazioni. Città come San Francisco stanno già facendo progressi significativi verso il rispetto dell'impegno a funzionare al 100 per cento con energia rinnovabile entro i prossimi 15 anni.

Il terzo principio, la diversità, si trova in tutti gli ecosistemi sani. Ogni organismo ha una sua peculiare risposta verso quello che ha intorno, e funziona di concerto con gli altri organismi per sostenere il sistema. Ogni organismo è fatto per stare al suo posto, e in ogni sistema prospera il più adatto.

I progettisti urbani che mirano al massimo adattamento prestano grande attenzione all'ecologia locale. Studiano geologia, idrologia, vegetazione e clima; e la storia, naturale e culturale. Mettendo insieme questo ricco «saggio di indizi», gli urbanisti trovano gli schemi in cui inquadrare lo sviluppo del paesaggio, e così creano possibilità di crescita positiva che sostengono la vita.

In ultima analisi, quello che vogliamo è una città progettata per consentire alle persone di vivere e lavorare nello stesso quartiere. Se i residenti possono smontare telefoni cellulari in una fabbrica pulita e inserita nell'ecosistema della città, non c'è più bisogno di relegare la fabbrica in un lontano sobborgo malfamato. Una città positiva elimina la necessità di una zonizzazione dettata dalle preoccupazioni riguardo ad attività pericolose o malsane. Le fabbriche possono stare nel bel mezzo di lindi quartieri residenziali, e offrire posti di lavoro raggiungibili a piedi o in bicicletta da persone che vivono nelle vicinanze. E questa possibilità, a sua volta, riduce di molto i bisogni di trasporti e pendolarismo, che sono un enorme spreco di risorse e del tempo delle persone. E se si fanno crescere cibi freschi e sani sui tetti di tutta la città, come avviene a South Side Soapbox, il nuovo stabilimento di Method Products a Chicago, non solo i rifiuti organici diventano una risorsa per i sistemi locali di produzione alimentare, ma chi lavora in queste «fattorie» sui tetti può vivere nelle vicinanze.

Immaginiamo ognuna delle cose che facciamo come un atto che sostiene la vita, produce gioia e trova un'armonia con la natura. Gli edifici funzionano come gli alberi: catturano carbonio, producono ossigeno, distillano acqua, offrono un habitat a migliaia di specie e sfruttano la fonte solare per le proprie esigenze termiche ed elettriche; e vendono l'energia in eccesso ai vicini. Edifici con zone umide e giardini botanici recuperano i nutrienti dalle acque reflue e le ripuliscono per usarle nelle cucine e nei bagni. Aria pulita, piante in fiore e luce naturale dappertutto. Costruzioni e comunità funzionano come sistemi di supporto vitale.

Con questa visione in mente, possiamo immaginare che nelle campagne circostanti si producano cibo e materiali grazie a strumenti e tecnologie realizzati nella città. La città restituisce i rifiuti sotto forma di materie prime che riforniscono il sistema, così trova un senso la sillaba «ri-» di «risorse». Ogni cosa si muove in cicli di rigenerazione, dalla città alla campagna, dalla campagna alla città, in reti naturali e culturali che fanno circolare nutrienti biologici e tecnici, l'hardware e il software del XXI secolo. Il metabolismo di una città vivente e positiva permette agli insediamenti umani e al mondo naturale di prosperare insieme. Se vogliamo che le nostre città possano essere di sostentamento e beneficio per tutti, bisogna prenderla come una verità letterale, strategica, che informi tutti i nostri progetti.

Utopie reali

Esporre i principi di un'utopia futura è convincente. Ma possono le città esistenti metterli davvero in pratica oggi? Qualche recente impianto industriale ne sta dando la dimostrazione.

Il rinnovamento e l'espansione del Ford Rouge Center di Dearborn, nel Michigan, ha fatto di questo storico e massiccio complesso automobilistico della Ford un modello di sostenibilità industriale. Il piano di riqualificazione ha previsto un «tetto verde» di quattro ettari, che è il nucleo di un sistema di giardini umidi, pavimentazioni permeabili, siepi e canali di filtrazione e drenaggio. L'intervento ha trasformato un'area industriale vecchia di cent'anni e dismessa in un florido ecosistema basato sulle precipitazioni, che cattura l'acqua, la ripulisce e la libera lentamente nel vicino fiume Rouge, in modo da mantenere in buona salute la falda idrica. Il corriere americano, un uccello endemico, è tornato a nidificare già una settimana dopo la fine dei lavori.

Un altro modello è Sustainability Base, il nuovo centro scientifico e di calcolo della NASA all'Ames Research Center di Moffett Field, in California. La struttura può provvedere a tutte le proprie esigenze di riscaldamento, condizionamento e alimentazione elettrica, addirittura può produrre un eccesso di energia, da fonti solari e geotermiche e una cella a combustibile con controlli avanzati di gestione energetica. Le acque reflue sono trattate sul posto.

Il progetto di Park 20/20 di Hoofddorp, nei Paesi Bassi, è un altro modello. Si tratta di un insieme diversificato di edifici e spazi aperti, oggi in via di completamento su un'area di più di 11 ettari. È facilmente raggiungibile in aereo, treno, autobus o bicicletta. Zone verdi, piazze, giardini pubblici e banchine pedonali lungo i canali lo collegano alla comunità circostante più ampia. Dimensioni, struttura e orientamento di ciascuno degli edifici sono stati ottimizzati per catturare energia e luce del Sole. In tutto il parco, negli edifici sono integrati sistemi energetici, idrici e di gestione dei rifiuti, che funzionano come in un unico organismo.

Possiamo espandere questi successi a intere città? L'ispirazione può venire da posti impensati. Uno di questi è Curitiba, in Brasile.

La trasformazione di Curitiba ha avuto inizio negli anni settanta, sotto la guida del leggendario architetto e urbanista Jaime Lerner, per tre volte sindaco della città tra gli anni settanta e novanta. Nel suo primo mandato Lerner si rese conto che la città, povera

e abitata da centinaia di migliaia di persone, doveva migliorare i trasporti pubblici. Dato che una rete di metropolitane o ferrovie sarebbe stata troppo costosa, chiese invece 270 autobus articolati svedesi alla Volvo, fabbricati nella città stessa, in modo da dare lavoro agli abitanti. Il Comune fece costruire da operai locali, a lato delle strade, hangar di superficie per gli autobus stessi – i *tubos* – da ognuno dei quali si poteva andare dappertutto con tariffa unica. Invece di far pagare il biglietto ai passeggeri con un apposito gettone al momento di salire sul bus, un processo lento, Lerner il fece pagare in anticipo, al momento di entrare sulla banchina del *tubo*, così quando arrivava il mezzo potevano salire subito, riducendo i tempi di carico e rendendo efficiente il sistema.

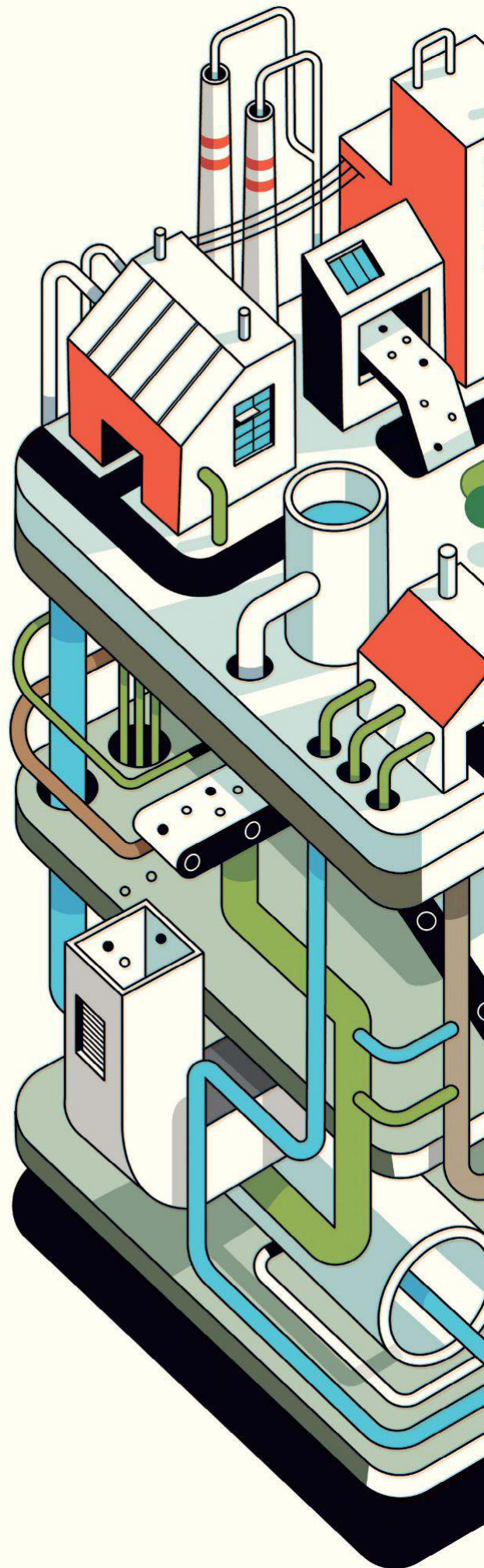
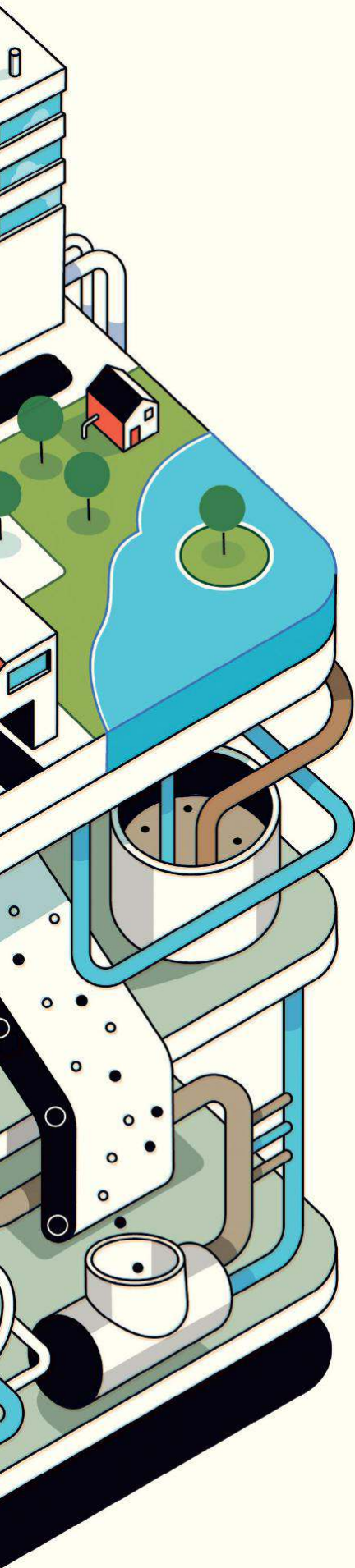
In seguito alla rapida crescita della popolazione, l'immondizia si accumulava negli stretti vicoli in cui i camion non potevano entrare a raccoglierla. Lerner ideò allora un programma per insegnare ai bambini come differenziare la spazzatura, affinché trasmettessero l'insegnamento alle famiglie. In cambio della differenziata le persone ricevevano gettoni per autobus o cibo fresco: un compenso che favoriva la mobilità. Improvvisamente, tutti usarono i trasporti pubblici. Oggi l'85 per cento dei cittadini di Curitiba prende l'autobus, e il 90 per cento ricicla. Curitiba ricicla il 70 per cento dei suoi rifiuti: è uno dei tassi più alti del mondo.

Le idee innovative non si sono certo fermate qui. Invece di costruire una grande biblioteca municipale in centro, il Comune ha creato una rete di 50 piccoli «Fari del sapere» nei vari quartieri, facilmente raggiungibili a piedi da ogni bambino. I costruttori, ovviamente locali, hanno realizzato edifici colorati e vivaci; e le librerie collaborano con le scuole comunali e offrono migliaia di libri e Internet gratuito ai cittadini dai tre agli ottant'anni. Queste e altre misure hanno trasformato la città in un ambiente fatto sia per vivere che per lavorare.

Immaginiamo adesso questo stesso tipo di visione a Manhattan, con il cibo che cresce sui tetti di centinaia di scuole e ospedali, producendo alimenti e posti di lavoro nei quartieri. I ragazzi potrebbero usare i propri sensori ottici – gli occhi – per differenziare la spazzatura, tirarne fuori la plastica e portarla a centri di riciclaggio in modo che non finisca nell'oceano, ed essere pagati in giocattoli. Fabbriche pulite tratterebbero la plastica ricavandone monomeri riutilizzabili. Il tutto alimentato dal Sole, con materiali che fluiscono in cicli continui di nutrienti biologici e tecnici.

Sicurezza, dignità e creatività

Quel che cerchiamo, per tutti, è qualcosa che vorrei chiamare la «buona vita»: una vita che sia sicura, dignitosa e creativa. Le città positive sono posti in cui questo può avvenire: se progettate e gestite secondo questi principi, tutto va meglio. Dobbiamo insistere sulla coesistenza dei diritti dell'umanità e di quelli della natura, sul far convergere la città e la campagna che la circonda.

Una città viene da un progetto, ma al tempo stesso è un organismo. Come ha detto anni fa il compianto antropologo francese Claude Lévi-Strauss, le città sono «qualcosa di vissuto e qualcosa di sognato». Come creatori di luoghi che vivono, non possiamo evitare di proiettare noi stessi sul paesaggio. Ma nel sognare le nostre città ideali, nel dare vita all'umana trama sulla declinazione geologica del territorio, possiamo cominciare a vedere più chiaramente il vero carattere del luogo che abitiamo, il suo spirito. E allora, nel plasmare la natura delle nostre città, i luoghi del nostro fare saranno una festa dell'umana creatività e insieme celebreranno un'armoniosa e ricca relazione con la Terra. Daremo forma a una nuova geografia della speranza. ■

Usare gli scarti

Trasformare rifiuti costosi in risorse utili può rendere le città molto più efficienti

di Michael E. Webber

Il 20 dicembre 2015 una montagna di rifiuti urbani è crollata a Shenzhen, in Cina, uccidendo almeno 69 persone e distruggendo decine di edifici. Un disastro che sembra l'avverarsi del distopico film per bambini *WALL•E*, dove c'era l'orribile ma realistica idea che i nostri rifiuti potrebbero accumularsi senza controllo fino a spingerci fuori dal nostro habitat. Un modo molto efficace di rendere una delle città di oggi in una città sostenibile – che preservi la Terra, invece di rovinarla – è ridurre tutti i flussi di rifiuti, e poi usare quello che resta come risorsa. I rifiuti di un processo diventano le materie prime di un altro.

In tutto il mondo, molte persone continuano a migrare verso i centri urbani, un fenomeno che pone le città in un'ottima posizione per risolvere i problemi globali legati alle risorse. I sindaci si stanno prendendo più responsabilità nel progettare soluzioni semplicemente perché devono farlo, soprattutto nei paesi in cui a livello nazionale si è raffreddato l'entusiasmo nell'affrontare le questioni ambientali. Anche gli accordi internazionali sul clima definiti a Parigi nel dicembre 2015 hanno riconosciuto il ruolo centrale delle città. Durante i colloqui, oltre 1000 sindaci avevano affollato la capitale francese per condividere i propri impegni di riduzione delle emissioni. Cambiare i regolamenti edilizi e investire nell'efficienza energetica sono solo due punti su cui molti leader cittadini hanno detto di poter cominciare assai più rapidamente dei governi statali.

Che le città si facciano avanti ha senso. Alcune – New York, Città del Messico, Pechino – hanno più abitanti di intere nazioni. E nei paesaggi urbani le difficoltà di gestione della nostra vita si scaricano tutte insieme con violenza, in forma concentrata. Le città possono porsi all'avanguardia perché possono aumentare rapidamente la scala delle soluzioni e perché sono laboratori viventi per migliorare la qualità della vita senza consumare le risorse della Ter-

Macchine scavano tra le macerie a Shenzhen, in Cina, dopo il crollo di una montagna di rifiuti che ha seppellito decine di edifici.

Getty Images

ra e inquinare l'aria e l'acqua, danneggiando nel frattempo anche la salute umana.

Le città sono piene di energia sprecata, di anidride carbonica sprecata, di cibo, di aria, di spazio e di tempo sprecati. Ridurre i flussi di questi sprechi e poi trattarli come una risorsa – e non come un costo – può risolvere molti problemi insieme, dando un futuro più sostenibile a miliardi di persone.

L'inquinamento come soluzione

La storia ha molto da insegnare sui rifiuti. John Snow, un medico londinese, dedusse che terribili epidemie di colera colpirono Londra nel 1848 e nel 1854 perché i pozzi di acqua pubblica erano contaminati da liquami. L'ovvia soluzione era costruire fognature, ma i leader politici negarono le conclusioni di Snow perché le sue idee non rispondevano alle ideologie prevalenti e perché la spesa fu ritenuta eccessiva. Simili dinieghi riguardano i climatologi di oggi, i quali ci dicono che i nostri rifiuti ci stanno uccidendo, anche se in modo più lento e meno diretto, e che per risolvere il problema ci vorranno significativi investimenti in nuove infrastrutture. In seguito Snow fu acclamato come eroe (e forse lo stesso destino toccherà agli scienziati dei nostri tempi), quando nuovi leader politici realizzarono l'ambizioso programma di lavori pubblici con cui un'affollata città di 3 milioni di abitanti si dotò di quasi 2000 chilometri di fognature, ponendo fine al problema del colera. Nei lavori furono inoltre realizzate le gradevoli banchine del fiume che ancora oggi continuano a essere un elemento chiave dell'ambiente urbano di Londra e lungo le quali molte persone amano passeggiare.

Oggi però scaricare i rifiuti non è più sufficiente. Bisogna ridurne la quantità e poi chiudere il cerchio riusando quello che rimane. Primo, limitare i rifiuti; secondo, farli servire a qualcosa.

Questo nuovo modo di pensare parte da una ridefinizione del concetto di inquinamento. A me, una nuova definizione l'ha insegnata Raj Bhattarai, ingegnere dell'azienda idrica municipale di Austin, in Texas: risorse fuori posto. Tante sostanze sono dannose quando si trovano nel posto sbagliato: nel nostro corpo, nell'aria, nell'acqua. Al posto giusto, però, sono utili. Per esempio, invece di inviare i rifiuti solidi in discarica, e pagare il conto, li si può incenerire per generare elettricità. E dalle acque reflue di una comunità di un milione di persone si possono estrarre ogni anno milioni di dollari d'oro e altri metalli preziosi, per le industrie locali.

L'idea si inserisce nella più generale prospettiva di un'economia «circolare», in cui le varie azioni e i diversi processi della società si alimentano positivamente l'un l'altro. Messa in modo semplice, i rifiuti sono quello che abbiamo quando è finita l'immaginazione.

Meglio meno

Un ovvio punto di partenza per cominciare a ridurre gli sprechi sono le perdite idriche. Una spaventosa frazione dell'acqua consumata da una città – fra il 10 e il 40 per cento – è tipicamente perduta dalle tubazioni. E dato che è stata purificata, e le pompe per distribuirla consumano, si spreca anche energia.

Del resto anche i consumi energetici causano grandi sprechi. Oltre la metà dell'energia usata da una città finisce in calore perduto da ciminiere, tubi di scappamento e scarichi di caloriferi, condizionatori ed elettrodomestici. Rendere più efficienti questi

Michael E. Webber è vice direttore dell'Energy Institute, condirettore del Clean Energy Incubator e professore di risorse energetiche all'Università del Texas ad Austin. Il suo libro più recente è *Thirst for Power: Energy, Water and Human Survival* (Yale University Press, 2016).

dispositivi riduce la quantità di energia da produrre, distribuire e ripulire.

Un altro flusso di sprechi da ridurre è quello dei rifiuti solidi. Gli Stati Uniti ne producono quasi 2 chilogrammi al giorno a persona. Malgrado gli sforzi per convertirne in *compost*, riciclarne o incenerirne una parte, un po' più della metà finisce in discarica. Ridurre gli imballaggi è un modo per ridurre questi volumi, e dà anche altri vantaggi. La grande distribuzione – per esempio, la catena Walmart – ha visto che ridurre gli imballaggi permette di usare meno camion per i trasporti e di esporre più articoli sugli scaffali.

Lo spreco di cibo è una dolorosa questione a sé. Malgrado le carestie e la mancanza di cibo di tante parti del mondo, gli statunitensi buttano via dal 25 al 50 per cento del proprio cibo. Che richiede ingenti quantità di energia, di terreno e di acqua per coltivarlo, produrlo, immagazzinarlo, cuocerlo e gettarlo via; dunque il cibo sprecato lascia un'impronta significativa. Una serie di iniziative che sono spuntate negli Stati Uniti, come la campagna I Value Food, e nel Regno Unito sono un primo passo per risolvere il problema.

A Vancouver si brucia il metano ottenuto dalle discariche per riscaldare le serre di pomodori gestite da Village Farms.

Mettere a frutto i rifiuti

Una volta ridotti i flussi, le città dovrebbero usare i rifiuti di ogni processo urbano come risorse per altri processi. Sono schemi ancora rari, ma stanno nascendo progetti convincenti. I moderni sistemi di recupero dell'energia dai rifiuti, come quello di Zurigo, bruciano immondizia in modo pulito, e in alcuni, come quello di Palm Beach, in Florida, si recupera più del 95 per cento dei metalli contenuti nelle ceneri granulari lasciate dalla combustione. Comuni di campagna come Jühnde, in Germania, ricavano biogas dagli escrementi bovini e suini in quantità sufficiente a riscaldare e rifornire di elettricità buona parte delle abitazioni. Il mio gruppo di ricerca all'Università del Texas ad Austin ha dimostrato che un cementificio di New Braunfels, in Texas, può bruciare *pellet* fatti di plastica non riciclabile anziché carbone, evitando le emissioni di anidride carbonica e l'impatto dell'estrazione del carbone.

Anche l'immondizia che finisce in discarica può offrire un valore. Le città possono raccogliere il metano che si libera dalla decomposizione dei rifiuti, che è un ovvio miglioramento rispetto al bruciarlo sul posto o lasciarlo semplicemente disperdere in atmosfera, dove intrappola molto più calore di una quantità equivalente di anidride carbonica. Generatori di potenza possono poi convertire il gas raccolto in elettricità. Nelle discariche di Vancouver il metano è estratto e bruciato per riscaldare le serre dei dintorni dove si coltivano pomodori.

Anche così, le discariche emettono gas. Questo ha spinto Vancouver, che si è impegnata a diventare la città più verde della Terra, a dare agli abitanti bidoni distinti per immondizia generica e rifiuti organici (scarti alimentari e residui vegetali da alberi e giardini). Ci si attende che i cittadini li usino come si deve, e gli ispettori municipali verificano che i rifiuti raccolti e scaricati siano stati correttamente divisi. La città produce metano dai rifiuti organici, insieme a sostanze solide dette ammendanti che possono aumentare la fertilità dei suoli. Queste soluzioni risolvono più problemi in una volta sola – risparmiare sul costo dell'energia che altrimenti sarebbe stata acquistata, ridurre il bisogno di costose discariche ed evitare di consumare e danneggiare inutilmente il territorio – favorendo in più l'agricoltura.

Qualcosa del genere si fa ad Austin con i fanghi residui del trattamento delle acque, che passano per un digestore anaerobico producendo biogas da vendere o usare sul posto per generare calore. I solidi rimanenti sono convertiti in un popolare ammendante chiamato Dillo Dirt (un riferimento all'armadillo, animale della zona). La città guadagna della vendita dell'ammendante, compensando in parte il costo della depurazione delle acque. Anche se il compostaggio sta crescendo e si sta diffondendo fra gli abitanti, e va incoraggiato, se fatto in modo sbagliato può aumentare le emissioni di metano. Per Austin è meglio che gli abitanti scarichino i residui alimentari nelle fogne, da dove poi sono triturati e trattati su scala industriale in un depuratore che può realizzare il compostaggio con più efficienza.

Un'altra grossa opportunità è il recupero del calore sprecato. Non è facile, perché il calore a bassa temperatura è difficile da convertire in elettricità. La NASA ha sviluppato generatori termoelettrici che lo fanno nei veicoli spaziali, ma è una tecnologia costosa e inefficiente. Però stanno arrivando materiali avanzati in grado di convertire il calore in elettricità in modo più efficace. Si potrebbe iniziare dall'acqua calda che scarichiamo quando laviamo i panni, le stoviglie e i nostri corpi. Un sobborgo di Oslo, Sandvika, ha grandi scambiatori di calore lungo le condutture fognarie che estraggono calore poi usato per scaldare decine di edifici nelle vicinanze o per sbrinare marciapiedi e strade. In estate, attivando pompe di calore, parte di questa energia può essere usata per rinfrescare gli stessi edifici. L'idea è piaciuta così tanto a Vancouver che l'ha ripresa e ha usato le acque di scarico per riscaldare centinaia di edifici e il suo Villaggio Olimpico.

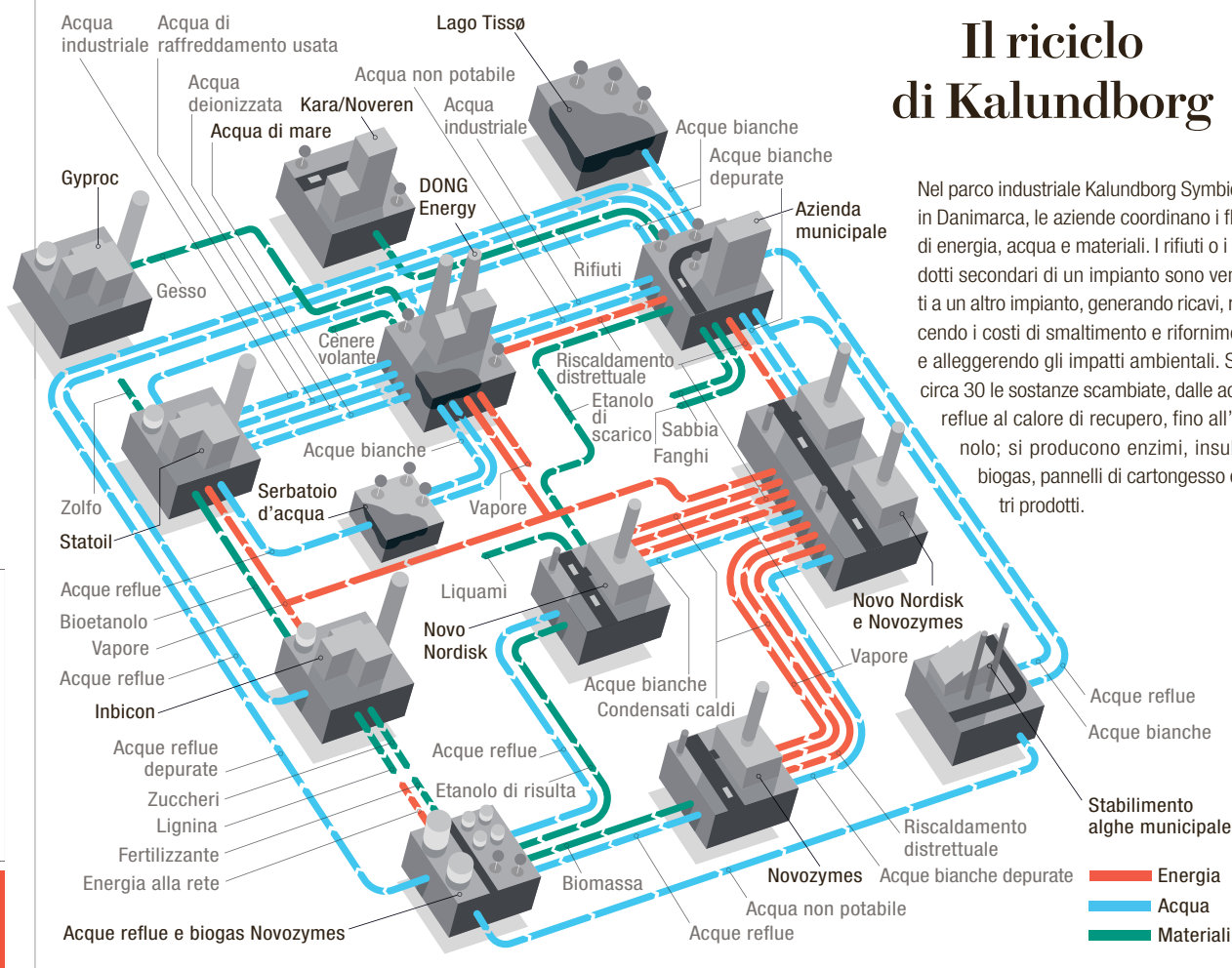
Kalundborg Symbiosis, in Danimarca, un esempio di punta di che cosa significa pensare per cicli chiusi, ha portato l'idea ancora un po' più avanti. È un parco industriale con sette aziende più vari impianti dei servizi municipali – elettrici, idrici e di gestione di rifiuti liquidi e solidi, soprattutto – connessi fra loro in modo che i rifiuti di uno stabilimento sono materiale in entrata per un altro. Tubazioni, cavi e condutture trasportano avanti e indietro vapore, gas, elettricità e acqua per migliorare l'efficienza complessiva e ridurre i rifiuti, comprese le emissioni di CO_2. Per esempio, l'acqua di scarico della raffineria di petrolio va alla centrale elettrica, do-

Si ringrazia Village Farm

CASO DI STUDIO

Il riciclo di Kalundborg

Nel parco industriale Kalundborg Symbiosis, in Danimarca, le aziende coordinano i flussi di energia, acqua e materiali. I rifiuti o i prodotti secondari di un impianto sono venduti a un altro impianto, generando ricavi, riducendo i costi di smaltimento e rifornimento e alleggerendo gli impatti ambientali. Sono circa 30 le sostanze scambiate, dalle acque reflue al calore di recupero, fino all'etanolo; si producono enzimi, insulina, biogas, pannelli di cartongesso e altri prodotti.

Fonte: Symbiosis Center Denmark (*www.symbiosiscenter.dk*); illustrazione di Harry Campbel

ve serve a ripulire e stabilizzare le ceneri volanti provenienti dalla combustione del carbone. La raffineria invia inoltre un flusso di vapore di scarico a Novo Nordisk, che ne usa il calore per coltivare batteri e lieviti da cui proviene circa la metà della produzione mondiale di insulina (*si veda il box in questa pagina*). L'intero parco somiglia a un organismo industriale vivente. E ha dimostrato di poter crescere economicamente senza aumentare o riducendo le emissioni.

Decisioni guidate dai dati

È possibile replicare il modello di Kalundborg Symbiosis su scala più vasta per le città di tutto il mondo? Sì, ma solo se diventano più intelligenti. Un parco industriale è flessibile perché ha un numero limitato di inquilini e decisori, ma in una città ci sono tanti individui e organizzazioni che ogni giorno prendono decisioni indipendenti su energia, acqua e rifiuti. Integrarli richiede il passaggio a una cultura di cooperazione, potenziata dal progresso delle tecnologie *smart*. Le «città intelligenti» dipenderanno da sistemi diffusi di sensori e potenza di calcolo a basso costo, abbinati con apprendimento automatico e intelligenza artificiale. Questa combinazione può identificare le inefficienze e ottimizzare le operazioni riducendo rifiuti e costi, mentre fa funzionare in automatico macchinari d'ogni genere.

Per fortuna, rendere intelligenti le città è un obiettivo attraente per gli urbanisti che vogliono densità di popolazione più alte senza tuttavia peggiorare la qualità della vita. In India, per esempio dove i problemi di popolazione e sanità pubblica sono gravi, il primo ministro Narendra Modi ha annunciato di voler convertire, come possibile soluzione, 100 Comuni piccoli e medi in città intelligenti.

Dire «intelligenti» significa già di per sé accusare la maggior parte delle altre città di essere stupide. L'accusa colpisce nel vivo, perché i Comuni sommersi dai rifiuti sembrano agire alla cieca. La U. S. National Science Foundation ha da poco lanciato una grande iniziativa di ricerca, chiamata Smart & Connected Communities, per aiutare le città a usare meglio i dati. Il nome, fra l'altro, indica che l'intelligenza non basta: conta anche l'interconnessione tra sistemi e persone.

Le città intelligenti si basano su enormi masse di dati raccolti da reti di sensori ampiamente diffusi e su algoritmi avanzati con cui acquisire informazioni, trarre conclusioni e decidere in base ai dati stessi. Reti connesse comunicano poi le analisi a dispositivi distribuiti in tutta la città. Contatori intelligenti per tracciare i consumi di elettricità, gas naturale e acqua a seconda delle ore della giornata e degli apparecchi casalinghi e industriali sono un ovvio punto di partenza. Sono disponibili anche sensori di traffico in tempo reale, di monitoraggio della qualità dell'aria e delle perdite dai tubi. Il consorzio di Pecan Street, ad Austin, sta

raccogliendo dati da centinaia di abitazioni per capire come l'accesso a flussi di dati di questo tipo possa aiutare i consumatori a modificare i propri comportamenti in modo da ridurre consumi e costi. Città come Phoenix e basi militari come Fort Carson, in Colorado, si sono impegnate a essere autosufficienti per energia e acqua, e a ridurre a zero i rifiuti prodotti. Sono obiettivi ambiziosi, e richiederanno molti dati interconnessi.

Trasporti migliori potrebbero dare alle masse urbane una prima idea dei benefici di una città intelligente tagliando gli sprechi di tempo. Ridurre l'impronta dei trasporti significa ripulire i combustibili, produrre veicoli più efficienti, ridurre distanze e durate degli spostamenti, aumentare il tasso di occupazione dei posti dei veicoli e tagliare il numero dei viaggi. Se le persone vivono vicino a dove lavorano, possono andarci a piedi, in bicicletta o con i mezzi pubblici. Gli studi mostrano che realizzare piste ciclabili protette aumenta l'uso delle biciclette, che occupano assai meno spazio delle automobili e dunque possono ridurre la congestione sulle strade.

Una città senza guidatori, in più, libera lo spazio e il tempo sprecati per i parcheggi. Con automobili condivise o autonome in costante movimento al posto di automobili private ferme sotto casa o al posto di lavoro, il numero dei parcheggi può essere ridotto di molto, recuperando spazi sprecati e riducendo ulteriormente la congestione del traffico. I ricercatori del Center for Transportation Research dell'Università del Texas ad Austin hanno usato sofisticati modelli per determinare che con veicoli autonomi e condivisi il numero di automobili necessarie a una città diminuirebbe di un ordine di grandezza, e si ridurrebbero le emissioni, malgrado un lieve incremento dei chilometri percorsi dovuto al fatto che i veicoli sarebbero costantemente in moto. Invece di sprecare tempo guidando, i pendolari potrebbero riposare, leggere la posta elettronica, fare telefonate o dedicarsi ad altre attività. Potrebbero anche lavorare produttivamente e stare quindi di meno in ufficio e tornare a casa un po' prima.

Rendere più intelligenti le infrastrutture è la chiave per risolvere problemi di base come le perdite dalle condutture dell'acqua. Identificare le perdite dovrebbe essere facile se i contatori fossero distribuiti in tutto un sistema idrico per tracciare i flussi e individuare prontamente gravità e posizione delle perdite. Ricercatori di Birmingham, nel Regno Unito, hanno sviluppato un sistema con minuscoli sensori di pressione a basso consumo energetico che eseguono controlli frequenti e individuano le perdite nelle reti idriche; un grosso passo avanti rispetto al vecchio metodo di aspettare che qualcuno telefoni per lamentarsi che c'è un geyser che spruzza per strada. E un giorno potremo mandare nelle condutture robot intelligenti per riparare i problemi.

Sensori ad alte prestazioni ci permetteranno inoltre di trovare e prevedere, prima che si verifichino incidenti, le perdite di gas naturale, che non solo sono uno spreco e un danno per l'ambiente, ma anche un grave rischio, come vediamo in esplosioni in aree urbane dalle infrastrutture troppo vecchie che fanno notizia.

Invece di finire in discarica, i rifiuti possono generare elettricità in un inceneritore; dalle acque reflue si possono estrarre oro e altri metalli di valore per le industrie locali

A Kalundborg, in Danimarca, un sistema di tubazioni porta il vapore di scarico della centrale elettrica DONG Energy ad aziende che lo sfruttano a fini industriali.

Si ringrazia Kalundborg Symbiosis

Non è facile capire dove potrebbero sorgere le prime città intelligenti e attente ai rifiuti. Come probabile candidata negli Stati Uniti penso una città del Midwest con un milione di abitanti o più, che ha bisogno di reinventarsi perché la sua economia è stata distrutta decenni fa. Viene in mente Indianapolis, anche perché comunque dovrà ricostruire i suoi sistemi idrici e fognari, date le cattive decisioni prese un secolo fa. La città sta investendo sulla sua zona centrale, ed è in crescita. Pittsburg sta sfruttando i suoi punti di forza – un vivace nucleo storico, l'orgoglio civico, la guida lungimirante del sindaco William Peduto, la forza della Carnegie Mellon University e altre importanti sedi di innovazione – per passare da città di ciminiere a città di cervelli. È qui che Uber ha lanciato il suo servizio di veicoli a guida autonoma. Columbus, capitale dell'Ohio e sede di una grande università, è un altro posto cui guardare per esperimenti d'avanguardia su come le città possono diventare smart. E di recente a Columbus lo US Department of Transportation ha assegnato una sovvenzione da 40 milioni di dollari affinché reinventi il suo approccio alla mobilità.

Come ci arriviamo?

Convertire città sprecone in centri che riducono i rifiuti e riusano quello che rimane non sarà facile. Investimenti integrati in ricerca e sviluppo da parte dei governi devono essere uniti a scelte concrete a tutti i livelli, dallo Stato alle amministrazioni loicali. Purtroppo negli ultimi anni i fondi per ricerca e sviluppo stanno diminuendo, e negli Stati Uniti con l'Amministrazione Trump potranno calare ancora.

Gli investimenti devono anche considerare gli aspetti sociali. Gli studi mostrano che ricerca e sviluppo sulle città intelligenti si sono concentrati più sulla tecnologia che sui bisogni dei cittadini. Se è fatta nel modo sbagliato, i vantaggi di una città intelligente potrebbero maturare solo per le persone che già hanno connessioni a Internet e accesso all'alta tecnologia, e questo non farebbe che allargare il gap tecnologico che si aggiunge alle altre disuguaglianze socio-economiche.

Le amministrazioni devono anche aiutare gli abitanti a diventare cittadini più smart, perché ognuno di essi prende decisioni che hanno un impatto sulle risorse ogni volta che acquistano un prodotto o azionano un interruttore. L'accesso all'istruzione, e ai dati, sarà decisivo. Connettere i cittadini richiede poi collaborazione e interazioni di vicinato: parchi, campi-giochi, spazi comuni, scuole, centri religiosi e di comunità sono principi fondamentali delle idee che da secoli ispirano la concezione di città vive e prospere. Più le città diventano moderne e intelligenti, più potremo avere bisogno di questi vecchi elementi per stare insieme. ■

Da parcheggio a paradiso

Una ragnatela in costante movimento di veicoli carichi di sensori e incroci «intelligenti» trasformerà il nostro modo di spostarci in città

di Carlo Ratti e Assaf Biderman

Carlo Ratti è direttore del Senseable City Lab del Massachusetts Institute of Technology e fondatore dello studio di progettazione Carlo Ratti Associati.

Assaf Biderman è un inventore, direttore associato del Senseable City Lab e fondatore di Superpedestrian, società impegnata nello sviluppo di veicoli robotici per una o due persone.

Fra automobili e città il rapporto è complicato. Oggi, tormentati come siamo dalla marea del traffico stradale e dalla crescita dell'inquinamento atmosferico, tendiamo a pensarle sempre più come incompatibili. Ma nel corso del XX secolo l'auto ha lasciato un segno fra i più durevoli sulla pianificazione urbanistica. In un fondamentale libro del 1925, *Urbanisme*, l'architetto svizzero Le Corbusier dichiarava: «L'automobile [...] ha completamente ribaltato tutte le nostre vecchie idee sulla pianificazione urbana».

Quasi cent'anni dopo, ci troviamo a un analogo punto di svolta. In primo luogo si prevede che entro il 2050 la domanda di trasporto urbano sarà più che raddoppiata rispetto all'attuale, il che vuol dire che dovremo più che raddoppiare la capienza delle strade già solo per tenere gli ingorghi allo stesso livello di oggi, spesso inaccettabile. In secondo luogo, grazie alla rapida convergenza delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione, della robotica e dell'intelligenza artificiale, i nostri sistemi di mobilità – automobili, bus e altri mezzi di trasporto – stanno andando incontro a massicce trasformazioni. E sono di nuovo sul punto di modificare radicalmente il paesaggio urbano.

Il fronte del cambiamento sono i veicoli a guida autonoma. Negli ultimi decenni le automobili sono passate da sistemi meccani-

Quando un'auto si avvicina all'incrocio emette un segnale di richiesta d'accesso al dispositivo di gestione dell'incrocio tramite WiFi. Il segnale, che reca una marcatura temporale, comprende i dettagli del percorso da compiere. Qui l'auto rossa 1 entra per prima nella zona di segnalazione, seguita dall'auto arancione 2, da quella dorata 3 e da quella verde 4.
Limite per le richieste di accesso all'incrocio.
Incrocio
Traiettorie fisse predefinite
1
2
3
4
5
Auto in avvicinamento alla zona di segnalazione
Distanza dall'auto precedente
Distanza d'arresto
Per garantire la sicurezza, i veicoli che si trovano nella stessa direzione di traffico devono mantenere una determinata distanza fra loro. I veicoli provenienti da direzioni diverse sono separati dalla distanza che sarebbe loro necessaria per fermarsi.
Un secondo scaglione, con l'auto azzurra 5 in testa, si avvicina all'incrocio.
Fonti: Senseable City Lab, Massachusetts Institute Of Technology; Remi Tachet E Altri. Revisiting Street Intersections Using Slot Based Systems. «Plos One», Vol. 11 N. 3, Articolo N. E0149607; 16 Marzo 2016

Controllo del traffico

I veicoli a guida autonoma consentirebbero ai pianificatori urbanistici di sostituire i semafori con incroci a slot in cui a ciascun veicolo che si avvicina all'incrocio viene assegnato un certo intervallo di tempo (uno slot) in cui attraversarlo. Le ricerche fanno pensare che incroci di questo tipo potrebbero essere attraversati, in un dato tempo, dal doppio dei veicoli rispetto a quelli regolati dai semafori.

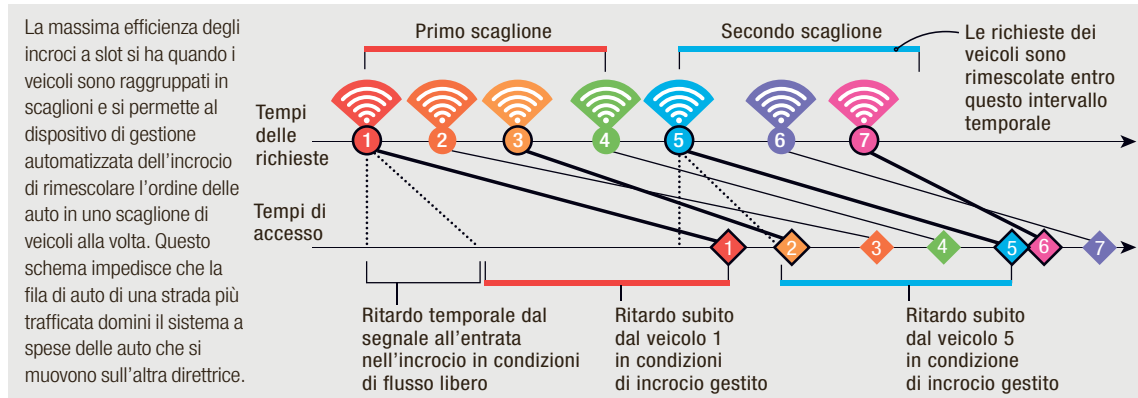



Illustrazione di Jen Christiansen

ci che Henry Ford avrebbe ancora potuto trovare familiari a veri e propri computer su quattro ruote. L'automobile media oggi è dotata di sensori che raccolgono dall'interno e dall'esterno dati utili a farla procedere in modo sicuro ed efficiente. Società come Waymo (spin-off di Google), Cruise (acquistata da General Motors), Otto (acquistata da Uber), Zoox e nuTonomy, per esempio, stanno sperimentando altri sensori ancora, capaci di «vedere» la strada in modo molto simile ai nostri occhi. Una volta inviata l'informazione a un sistema di intelligenza artificiale di bordo si ottiene un veicolo pienamente autonomo, capace di muoversi attraverso affollati sistemi di incroci senza bisogno di intervento umano.

Le auto a guida autonoma libereranno molto del tempo che trascorriamo ogni giorno alla guida e renderanno le nostre strade più sicure. E cambieranno molto le nostre città; in che modo, però, è ben lontano dall'essere già deciso. Da una parte possiamo pensare che più gente comincerà a condividere questi veicoli, in modo che queste auto possano trasportare un passeggero dopo l'altro per tutta la giornata. In tal caso, per le nostre città potrebbe bastare soltanto una piccola parte dei veicoli attualmente in uso. Oppure potremmo avere scenari distopici. Robin Chase, co-fondatrice ed ex amministratrice delegata di un servizio di *car sharing* chiamato Zipcar, ha scritto di «automobili-zombie – senza alcuna persona a bordo – che intaseranno le città e le strade». E prevede disoccupazione per gli autisti di professione, perdite di introiti per i trasporti pubblici e «un incubo fatto di inquinamento, congestione e agitazioni sociali». Paradiso tecnologico o distopia urbana? Per affrontare la questione bisogna occuparsi dei modi in cui i veicoli autonomi potrebbero modificare i paesaggi urbani e del nostro modo di muoverci in quei paesaggi.

Vaste aree del territorio urbano potrebbero essere riqualificate a servizi per la collettività

Un'economia di condivisione

In media, un'automobile resta ferma per il 96 per cento del tempo, e ciò ne fa una candidata ideale per un'economia di condivisione. Il potenziale di riduzione degli ingorghi è immenso. Un piccolo numero di sistemi di condivisione delle auto – come Zipcar e car2go – sta già avendo un impatto assai rilevante sul numero totale dei veicoli che circolano nelle nostre città. Alcuni studiosi stimano che ogni veicolo condiviso toglie dalle strade da 9 a 13 auto private.

I benefici saliranno esponenzialmente man mano che i veicoli autonomi, oggi disponibili in forma sperimentale, conquisteranno una porzione più ampia del mercato, rendendo più sfumata la distinzione tra modalità di trasporto private e pubbliche. La «vostra» auto potrebbe portarvi al lavoro al mattino e poi, invece di restar ferma in un parcheggio, portare da qualche altra parte un'altra persona della vostra famiglia; oppure un vicino di casa o qualcuno che fa parte della vostra stessa comunità sui social media.

Il risultato è che il singolo veicolo può passare da un'ora a 24 ore di uso al giorno. Un recente lavoro dei nostri colleghi del Massachusetts Institute of Technology mostra che in condizioni del genere la domanda di mobilità di una città come Singapore – che ospita una delle prime flotte del mondo di auto a guida autonoma accessibili al pubblico – potrebbe essere soddisfatta con appena il 30 per cento dei veicoli esistenti. Oltre alla condivisione dei veicoli, l'autonomia potrebbe aprire la strada a una nuova ondata di condivisione delle corse. Già adesso applicazioni come Via, uberPOOL e LyftLine consentono a persone diverse di viaggiare insieme sullo stesso veicolo, tagliando costi di funzionamento e spese dei singoli. L'autonomia dei veicoli potrebbe far crescere la condivisione delle corse, in particolare perché tutti gli spostamenti si potrebbero gestire on line. Stando alle analisi del nostro Senseable City Lab, nelle città lo spazio potenziale per la condivisione delle corse è significativo.

New York, per esempio, è adattissima. Il progetto HubCap del nostro laboratorio ha raccolto i dati di 170 milioni di corse in taxi, coinvolgendo 13.000 auto autorizzate al servizio di piazza: in particolare, le coordinate GPS dei punti di salita e discesa e i corrispondenti tempi di percorrenza. Abbiamo poi sviluppato un modello matematico per determinare i potenziali effetti di una condivisione delle corse applicata a quei tragitti. Il progetto ha proposto il concetto di «reti di possibilità di condivisione», che rendono possibile ottimizzare le opportunità di condivisione delle corse. I nostri risultati quantitativi rivelano che la condivisione dei taxi potrebbe ridurre il numero aggregato delle auto del 40 per cento allungando solo di pochissimo i tempi per i passeggeri. Altre ricerche mostrano che i vantaggi sarebbero simili anche in posti come San Francisco, Vienna e Singapore.

Combinando condivisione delle auto e condivisione delle corse, una città potrebbe cavarsela con appena il 20 per cento delle auto oggi in uso, con gli abitanti che si spostano *on demand*. Ovviamente si tratta di riduzioni teoriche; nella realtà, dipenderà da quanto la gente sarà disposta a viaggiare insieme e ad adottare le tecnologie di guida autonoma. Ma ogni riduzione del numero dei veicoli può servire a far calare i costi economici ed energetici della costruzione e della manutenzione delle nostre infrastrutture per la mobilità. Meno auto può voler dire, inoltre, spostamenti più rapidi, traffico più leggero e infine minore impatto ambientale.

Niente parcheggi, niente semafori

Le automobili autonome non richiederanno ulteriori infrastrutture urbane – strade apposite e specificamente progettate, per esempio – ma porteranno ad altri significativi cambiamenti. Prendiamo i parcheggi. Negli Stati Uniti queste infrastrutture coprono poco meno di 21.000 chilometri quadrati: quasi quanto il New Jersey. Se ci fossero più veicoli condivisi, il bisogno di parcheggi calerebbe molto. Con quali conseguenze?

Nel tempo, vaste e pregiate aree urbane attualmente adibite a parcheggio potrebbero essere ristrutturate a vantaggio di un'ampia gamma di funzioni sociali. Alcune idee preliminari le offre Park(ing) Day, un evento annuale tenuto per la prima volta a San Francisco nel 2005, che ogni anno sfida artisti, progettisti e cittadini in genere a trasformare aree di parcheggio a pagamento in temporanei spazi pubblici. Alcuni dei partecipanti, in passato, vi hanno portato zolle erbose e collocato alberi e panchine lungo i marciapiedi. Su scala assai più vasta, e in via permanente, si potrebbero convertire i parcheggi in spazi condivisi per servizi alla collettività come parchi, caffè, percorsi fitness e piste ciclabili.

Dalle strade cittadine potrebbero sparire altri oggetti familiari. I semafori sono una tecnologia vecchia di 150 anni e originariamente concepita per evitare scontri tra carri tirati da cavalli. I veicoli a guida autonoma, carichi di sensori e in grado di comunicare tra loro per mantenere distanze di sicurezza, avranno meno biso-

gno di assistenza agli incroci. Di conseguenza gli incroci a slot, secondo il modello dei sistemi di controllo del traffico aereo, potrebbero sostituire i semafori. Avvicinandosi a un incrocio il veicolo prenderebbe contatto automaticamente con un sistema di gestione del traffico e richiederebbe l'accesso; gli sarebbe assegnato uno specifico intervallo di tempo, o slot, in cui attraversare l'incrocio.

Gli incroci a slot potrebbero significativamente ridurre code e ritardi, come ha dimostrato il nostro progetto Light Traffic. Le analisi mostrano che un sistema che assegna gli slot in tempo reale potrebbe far passare per un incrocio il doppio dei veicoli rispetto ai semafori nello stesso periodo di tempo. Questa soluzione avrebbe un grosso impatto sulla rete stradale di una città. Taglio dei tempi di spostamento e di attesa; calo dei consumi di carburanti; e, grazie alla diminuzione di fermate e ripartenze, meno inquinamento dell'aria. Un vantaggio in più è che gli incroci a slot sono abbastanza flessibili da tener conto anche dei pedoni e dei ciclisti che usano la stessa strada.

Se non sarà gestita con attenzione, la transizione alle città senza guidatori potrebbe avere conseguenze negative

Vale la pena di notare che questa attraente visione non dipende soltanto da auto autonome e sistemi intelligenti di gestione del traffico; richiede anche un miglior coordinamento del mercato. Ora le aziende di car sharing hanno piattaforme indipendenti che non parlano l'una con l'altra. Non è facile per i clienti confrontare le varie opzioni, e i conducenti non possono beneficiare della domanda aggregata. La situazione è simile a quella dei trasporti aerei prima di Internet. Oggi i passeggeri possono confrontare molte alternative attraverso parecchi sistemi di distribuzione globale che seguono standard stabiliti dalla Open-Travel Alliance e quindi godono di maggior trasparenza e concorrenza.

Gli approcci che potrebbero dare vita a un'architettura del genere per la mobilità nelle città sono due. Il primo potrebbe partire dal basso, con piccoli operatori che cominciano ad adottare gli stessi standard. È quanto sta cominciando a succedere con una collaborazione tra Lyft, Didi Chuxing in China, Ola in India e GrabTaxi nel Sudest Asiatico. Il secondo approccio dovrebbe partire dall'alto ed essere guidato da un governo o da un organismo globale come il consorzio che gestisce il World Wide Web. Dato che i servizi di trasporto sono già pesantemente regolamentati nella maggior parte dei paesi, non è una possibilità troppo remota. Entrambi gli approcci potrebbero dare luogo a una piattaforma incredibilmente potente e trasparente per i servizi logistici e di trasporto.

Possibili trabocchetti

L'autonomia dei veicoli e la condivisione delle corse potrebbero generare cambiamenti dei trasporti urbani in larghissima misura positivi. Ma se non sarà gestita con grande attenzione la transizione alla città senza guidatori potrebbe anche avere conseguenze negative.

La prima preoccupazione è la sicurezza. Tutti sappiamo che cosa succede se un virus manda in tilt un computer; ma se mandasse in tilt un'auto? Le attività maligne degli hacker sono difficili da combattere con i tradizionali strumenti di governi e industrie, e particolarmente pericolose nel caso di sistemi, come le auto a guida autonoma, in cui gli aspetti digitali si uniscono a quelli fisici.

Ulteriori problemi potrebbero nascere da quello che si potrebbe chiamare l'«indebito vantaggio competitivo» dei veicoli autonomi. Il costo a chilometro degli spostamenti potrebbe calare così fortemente che la gente finirebbe per abbandonare il trasporto pubblico a favore delle auto a guida autonoma. E ciò, a sua volta, potrebbe portare all'*aumento* del numero di veicoli in città, e di conseguenza a surreali ingorghi di traffico. In più, tenere le auto in movimento a tutte le ore invece che parcheggiate per il 96 per cento del tempo potrebbe far aumentare l'inquinamento.

Un'altra conseguenza indesiderata potrebbe essere l'aggravamento dell'espansione delle aree urbane. Non sarebbe la prima volta che un'innovazione tecnologica nel campo della mobilità ha un effetto del genere. In un libro del 1941 intitolato *Sur les 4 routes*, Le Corbusier ha descritto come si è svolto questo processo nei primi decenni del XX secolo: «La ferrovia ha fatto delle città veri e propri poli magnetici; si sono riempite, gonfiate senza controllo, e la campagna è stata progressivamente abbandonata. Un disastro. Grazie alla sistemazione pianificata delle strade terrestri, per fortuna, l'automobile ristabilirà l'armonia infranta e darà inizio al vivente ripopolamento delle campagne». In futuro, che accadrà se tanta gente, con la novità di poter dormire o lavorare mentre si sposta, deciderà di trasferirsi fuori città, consumando territorio ed espandendo comunità sempre più vaste e meno sostenibili?

È il caso di segnalare anche un altro paio di rischi. Multe, tariffe di parcheggio e tasse sull'automobile come quelle sulle patenti sono una seria fonte di introiti per amministrazioni locali e nazionali d'ogni tipo. Una vasta diffusione dei veicoli autonomi potrebbe eliminare questo flusso finanziario. È facile immaginare che cosa potrebbe succedere alle già malconce infrastrutture degli Stati Uniti se questo scenario dovesse realizzarsi. Forse le città potrebbero trovare un compenso nella riconversione dei parcheggi non più necessari, costruendo nuove, profittevoli infrastrutture. Ma dobbiamo anche ricordare che milioni di persone nel mondo lavorano come autisti nella logistica o nei trasporti urbani, e potrebbero restare disoccupate.

Come ha scritto Robin Chase, «togliere i guidatori dalle auto e basta, tenendo tutto il resto del sistema invariato, sarà un disastro». Di conseguenza, è indispensabile guardare a queste nuove tecnologie in modo critico, e dirigerle verso gli obiettivi che ci diamo a livello di società. Applicare le giuste politiche potrebbe contribuire a prevenire gli esiti negativi che abbiamo indicato. Come è avvenuto nel XX secolo, molto dipenderà da un sano ciclo di prove ed errori.

Eppure, se riusciamo a gestire la transizione in modo ragionato, le auto a guida autonoma potrebbero aiutarci a vivere la città in modo più sicuro e più piacevole. In questo modo finirebbero per potenziare quella che è la ragion d'essere delle nostre città, che è ancora la stessa dei primi insediamenti umani di più di 10.000 anni fa: farci stare insieme, a prescindere da come siano i veicoli con cui ci spostiamo. ■

PER APPROFONDIRE

Trash-to-Treasure: Turning Nonrecycled Waste into Low-Carbon Fuel. Breckel A.C., Fyffe J.R. e Webber M.E., «EARTH», Vol. 57, n. 8, pp. 42-47, agosto 2012.

The Upcycle: Beyond Sustainability - Designing for Abundance. McDonough W. e Braungart M.. North Point Press, 2013.

Ulteriori dettagli su Park 20|20: **www.park2020.com/en.**

Senseable City Lab del Massachusetts Institute of Technology: **http://senseable.mit.edu.**

La città efficiente. Fischetti M., in «Le Scienze» n.519, novembre 2011.

SALUTE

Vent'anni di ricerche confermano che consumare più calorie rispetto a quelle che assumiamo con il cibo può aiutare a perdere peso, ma quello che mangiamo è più importante dell'esercizio fisico

di Susan B. Roberts e Sai Krupa Das

Le verità confuse sulla perdita DI PESO

L'epidemia globale di obesità è una delle principali sfide sanitarie che l'umanità affronta. Nel 2014 circa 600 milioni di persone, ovvero il 13 per cento della popolazione adulta mondiale, era obeso. Dal 1980 il tasso di obesità mondiale è più che raddoppiato. A oggi, il 37 per cento degli statunitensi adulti è obeso e un ulteriore 34 per cento è sovrappeso. Se le tendenze attuali continueranno, gli esperti di salute pubblica prevedono che nel 2030 la metà degli statunitensi sarà obesa.

Se diete alla moda, *reality* televisivi e forza di volontà potessero lasciare il segno, avremmo già visto un cambiamento. L'obesità (caratterizzata da un eccesso di grasso corporeo e definita come il 120 per cento o più del peso ideale) è però davvero troppo complessa per essere risolta con soluzioni rapide. Non è semplice capire perché mangiamo quello che mangiamo, come l'organismo controlla il peso e qual è la strategia migliore per indurre le persone a modificare abitudini malsane. Il nostro laboratorio ha trascorso gli ultimi vent'anni provando a sviluppare, con tutto il rigore che la scienza permette, metodi più efficaci per trattare l'obesità e mantenere un peso sano.

La maggior parte del nostro lavoro ha sfidato dogmi comuni e aperto porte per nuovi approcci. Abbiamo mostrato, per esempio, che l'attività fisica non è l'aspetto più importante su cui concentrarsi quando si vuole perdere peso, sebbene abbia numerosi altri benefici sulla salute, incluso mantenere un peso sano. Come molti esperti avevano sospettato, e come noi e altri abbiamo ora dimostrato, quello che mangiamo e quanto mangiamo hanno un ruolo decisamente più importante nel determinare se perdiamo peso o meno. Ma la nostra ricerca è andata molto più a fondo, dimostrando che persone diverse perdono peso in maniera più efficace con cibi differenti. Questa scoperta ci permette di mettere a punto piani di perdita di peso personalizzati che funzionano meglio di qualunque altro consiglio buono per tutti.

Riteniamo che queste nuove conoscenze possano migliorare la salute di milioni di persone in tutto il mondo. L'obesità aumenta il

Fotografia di Dan Saelinger

rischio di ammalarsi di tutte le principali malattie non comunicabili, compresi diabete di tipo 2, malattie cardiache, ictus e diversi tipi di tumore: quanto basta per ridurre di 14 anni la potenziale durata di vita. Le ricerche dimostrano che un eccesso di peso interferisce anche con la capacità del nostro organismo di difendersi dalle infezioni, dormire profondamente e invecchiare bene, tra gli altri problemi. È ormai giunto il momento di capire come combattere questa epidemia.

Susan B. Roberts è *senior researcher* e direttore dell'Energy Metabolism Laboratory al Jean Mayer USDA Human Nutrition Research Center on Aging alla Tufts University. È anche professoressa di nutrizione alla Gerald J. and Dorothy R. Frieedman School of Nutrition Science and Policy alla Tufts University, è professoressa di psichiatria e *staff member* di pediatria alla Tufts School of Medicine.

Sai Krupa Das è una scienziata dell'Energy Metabolism Laboratory dello Human Nutrition Research Center on Aging, ed è *faculty member* alla Friedman School of Nutrition Science and Policy alla Tufts.

A basso consumo

La perdita di peso può essere ricondotta a una semplice formula matematica: bruciare più calorie di quelle che si assumono. Per decenni gli esperti di salute hanno ritenuto che non è troppo importante come una persona crea questo deficit: finché assume i giusti nutrienti, può perdere peso in maniera sicura combinando in qualunque modo aumento di attività fisica e minore assunzione di cibo. Questa ipotesi non considera però la complessità della fisiologia e della psicologia umana, dunque crolla rapidamente quando è confrontata con l'esperienza del mondo reale. In effetti, sistemare i dettagli e mettere la gestione del peso a un livello più scientifico ha richiesto molto più tempo e una gamma più ampia di competenze rispetto a quello che ci aspettava.

Il nostro primo passo, all'inizio degli anni novanta, è stato determinare un bisogno di base: quanta energia serve per alimentare un corpo umano medio? Non è facile rispondere a questa domanda diretta. Le persone, ovviamente, ottengono l'energia di cui necessitano dal cibo. Ma per poter usare questa energia il cibo deve essere degradato o metabolizzato, per diventare l'equivalente del carburante per un'automobile. L'ossigeno che respiriamo aiuta a bruciare quel combustibile, e qualsiasi cosa non venga usata immediatamente è immagazzinata nel fegato come glicogeno (una forma di carboidrato) o grasso. Quando il fegato è saturo, l'eccesso di grasso è accumulato altrove nelle cellule adipose. Oltre a ciò, il metabolismo crea biossido di carbonio (anidride carbonica) che espiriamo, e altri prodotti di scarto che sono espulsi attraverso urine e feci. Questo processo opera con diversi gradi di efficienza in persone diverse e in circostanze differenti nello stesso individuo.

Per molto tempo il miglior modo di misurare il consumo energetico degli individui consisteva nell'ospitarli per due settimane in un laboratorio specializzato come il nostro, dove i ricercatori potevano misurare tutto quello che i soggetti mangiavano e tenere traccia del peso. Un altro modo consisteva nel mettere volontari in una stanza sigillata, chiamata calorimetro, misurando l'ossigeno che inspiravano e l'anidride carbonica che espiravano. Da queste misurazioni valutavamo le richieste energetiche di base dell'organismo. Nessuno dei due metodi è conveniente, e nessuno è preciso abbastanza da replicare le condizioni della vita quotidiana.

Un approccio più semplice sfrutta la cosiddetta acqua doppiamente marcata, che contiene minuscole quantità di deuterio (^{2}H) e di ossigeno-18 (^{18}O), entrambi innocui e non radioattivi. Per un periodo compreso fra una e due settimane dopo che una persona ha bevuto acqua doppiamente marcata, il corpo espelle deuterio e una certa quantità di ossigeno-18 nell'urina. (Il resto dell'ossigeno-18 viene espirato sotto forma di anidride carbonica). I ricercatori prendono campioni di urina e confrontano la rapidità con cui i due isotopi scompaiono dall'organismo durante quell'arco di tempo. Disponendo di questi dati possono calcolare la quantità di calorie che un individuo brucia senza interrompere la sua routine giornaliera.

Questo metodo è stato sviluppato negli anni cinquanta, ma per decenni l'acqua doppiamente marcata è stata troppo costosa per essere usata sulle persone. Intorno agli anni ottanta il suo costo è precipitato, e la tecnica è diventata più efficiente, anche se a volte il nostro laboratorio ha dovuto spendere anche 2000 dollari per una sola misurazione. Per questo ci sono voluti più di vent'anni per raccogliere dati sufficienti a capire di quanta energia ha bisogno il corpo per evitare l'aumento o la perdita di peso.

Questi esperimenti, condotti dal nostro e da altri gruppi, ci hanno aiutato a determinare che gli esseri umani non necessitano di una grande quantità di calorie per rimanere attivi e in buona salute. E che qualsiasi consumo eccessivo si trasforma rapidamente in un accumulo di peso. A questo riguardo, siamo molto simili ad altri primati, compresi scimpanzé e orangutan. Un maschio adulto con un peso sano e un'altezza standard che vive oggi negli Stati Uniti necessita di circa 2500 calorie al giorno per mantenere il proprio peso, una donna adulta non obesa e nella media ha bisogno di circa 2000 calorie. Gli uomini tendono a usare più calorie perché in media hanno corpo e massa muscolare più grandi.

Al contrario, alcuni studi dimostrano che specie diverse – come cervo rosso (*Cervus elaphus*, peso medio di 100 chilogrammi per le femmine di sei anni in un esperimento) e foca grigia (*Halichoerus grypus*, con un peso medio di 120 chilogrammi per tre femmine adulte) – richiedono da due a tre volte più calorie per chilogrammo rispetto ai primati per mantenere le dimensioni.

Potremmo essere tentati di supporre che gli statunitensi abbiano un fabbisogno calorico basso perché conducono una vita sedentaria; i ricercatori però hanno documentato esigenze caloriche simili addirittura in popolazioni indigene che conducono una vita

IN BREVE

Per anni i nutrizionisti hanno ipotizzato che tutte le calorie fossero fondamentalmente le stesse per quel che riguarda aumento o perdita di peso, e che dieta e attività fisica fossero ugualmente efficaci nel prevenire l'obesità.

Nuove prove che i ricercatori hanno accumulato nel corso degli ultimi vent'anni hanno confermato alcune importanti eccezioni a questa convinzione piuttosto diffusa.

La composizione dei cibi, cioè quante proteine e quante fibre, risulta importante quasi come la quantità consumata. L'attività fisica ha un effetto meno concreto rispetto a quello previsto da molti.

Queste conoscenze più dettagliate e scientifiche sul perché ingrassiamo e su quale sia il modo migliore per perdere peso potrebbero fare una grande differenza nella lotta per la diminuzione della pancia.

IN AUMENTO

molto attiva. Herman Pontzer, dello Hunter College, ha misurato il fabbisogno calorico dell'etnia Hadza, una popolazione di cacciatori-raccoglitori che vive nel nord della Tanzania, scoprendo che gli uomini avevano bisogno in media di 2649 calorie al giorno. Le donne, che come gli uomini tendono a essere più piccole rispetto alle controparti di altre regioni, avevano bisogno di appena 1877 calorie. Un altro studio ha esaminato la popolazione siberiana indigena degli Jakuti, scoprendo che gli uomini hanno un fabbisogno calorico quotidiano di 3103 calorie, mentre le donne necessitano di 2299 calorie. Si è scoperto anche che i membri della tribù degli Aymara che vivono sull'altipiano delle Ande necessitano di 2653 calorie per gli uomini e 2342 calorie per le donne.

Sebbene il nostro fabbisogno calorico non sia cambiato, dati di istituzioni pubbliche dimostrano che ogni giorno in media gli statunitensi consumano 500 calorie in più (l'equivalente di un sandwich con pollo grigliato o di due *tacos* di manzo in un fast-food) rispetto agli anni settanta. Un eccesso di appena 50 o 100 calorie al giorno – l'equivalente di uno o due piccoli biscotti – può portare a un aumento di peso da 1 a 3 chilogrammi all'anno. Dopo un decennio, questo si traduce facilmente in 10-30 chilogrammi in più. Dovremmo meravigliarci per il fatto che così tanti di noi sono sovrappeso o addirittura obesi?

Calorie complesse

La formula per mantenere un peso stabile – non consumare più calorie di quelle necessarie al corpo per calore, funzionamento di base e attività fisica – è solo un altro modo di dire che la prima legge della termodinamica vale anche per i sistemi biologici: la quantità totale di energia assorbita da un sistema chiuso (in questo caso il corpo), deve essere uguale alla quantità totale consumata o immagazzinata. Ma non c'è nulla in quella legge che richieda al corpo di usare tutte le fonti di cibo con la stessa efficienza. Questo ci porta alla domanda se tutte le calorie contribuiscono allo stesso modo all'aumento di peso.

Le ricerche del settore si stanno evolvendo, e capire perché c'è voluto così tanto tempo per ottenere risposte definitive richiede un salto nel passato, poco prima dell'inizio del Novecento nella minuscola comunità di Storrs, in Connecticut. Lì un chimico di nome Wilbur O. Atwater costruì la prima stazione di ricerca degli Stati Uniti ideata per studiare produzione e consumo di cibo. Atwater fu il primo a dimostrare che la prima legge della termodinamica vale per esseri umani e animali. Mentre alcuni scienziati dell'epoca pensavano che le persone potessero rappresentare un'eccezione alla regola.

Dall'epoca di Atwater la progettazione sperimentale dei laboratori metabolici è cambiata poco. Per determinare quanta energia il corpo può ricavare dalle tre componenti principali del cibo – proteine, grassi e carboidrati – Atwater domandò a un gruppo di volontari maschi di vivere uno alla volta in un calorimetro per diversi giorni. Nel frattempo il chimico e i suoi colleghi misuravano qualunque cosa ciascuna cavia umana mangiava, e che cosa diventava quel cibo, dall'anidride carbonica che il volontario espirava alla quantità di azoto, carbonio e altre componenti nelle sue urine e feci. Alla fine i ricercatori determinarono che il corpo può estrarre circa quattro calorie per grammo di energia da proteine e carboidrati, e nove calorie da ogni grammo di grasso. Oggi questi numeri sono conosciuti come fattori di Atwater.

Certo, i cibi non arrivano a noi come proteine, carboidrati e grassi puri. Il salmone è composto da proteine e grasso. Le mele contengono carboidrati e fibre. Il latte contiene grasso, proteine, carboidrati e molta acqua. Ne risulta che caratteristiche fisiche e composizione di un cibo svolgono un ruolo maggiore nella capacità dell'organismo di digerire e assorbire completamente le calorie rispetto a quanto avevano previsto i ricercatori.

Nel 2012, per esempio, David Baer dello U.S. Department of Agriculture's Beltsville Human Nutrition Center, in Maryland, ha dimostrato che il corpo non è capace di estrarre tutte le calorie indicate sulle etichette nutritive di alcune noci: dipende da come sono lavorate. Mandorle crude intere, per esempio, sono più difficili da digerire rispetto a quello che avrebbe previsto Atwater, così ricaviamo circa un terzo di calorie in meno da questo alimento, mentre metabolizziamo tutte le calorie del burro di mandorle.

Anche cereali integrali, avena e cereali ad alto contenuto di fibre sono digeriti con meno efficienza rispetto a quello che pensavamo. Uno studio recente del nostro gruppo ha esaminato che cosa succedeva quando alcuni volontari consumavano una dieta a base di cereali integrali che includeva 30 grammi di fibre alimentari, rispetto a una dieta più tipicamente statunitense che conteneva la metà di queste fibre. Abbiamo rilevato un aumento della quantità di calorie perdute attraverso le feci e un aumento del metabolismo. Insieme, questi cambiamenti producevano un beneficio netto di quasi 100 calorie al giorno, che possono avere un effetto sostanziale sul peso nell'arco di anni.

Noi e altri gruppi abbiamo dimostrato che non tutte le calorie sono uguali, almeno per noci e cereali ricchi di fibre. Via via che gli scienziati imparano più cose sull'efficienza con cui cibi differenti sono digeriti, e su come influiscono sul tasso metabolico del corpo, è probabile che scopriremo altri esempi analoghi di disparità, sufficientemente importanti da influire sulla facilità o sulla difficoltà con cui gli individui gestiscono il proprio peso.

Consumo energetico

Fin qui abbiamo discusso di ciò che ci mettiamo in bocca. Quello che nostro corpo fa con il cibo che mangiamo ci porta all'estremo opposto dell'equazione del bilancio energetico: il consumo. Anche qui i ricercatori stanno scoprendo una variabilità notevole.

Uno dei consigli più comuni alle persone che cercano di perde-

Fonte: Centers for Disease Control and Prevention

re peso è che dovrebbero svolgere più attività fisica. L'attività fisica aiuta certamente a mantenere cuore, cervello, ossa e le altre parti del corpo in buona efficienza. Tuttavia, misurazioni dettagliate effettuate nel nostro e in altri laboratori mostrano che l'attività fisica è responsabile solo di circa un terzo del consumo energetico totale (assumendo un peso del corpo stabile). Il metabolismo basale del corpo, cioè l'energia di cui l'organismo ha bisogno per mantenersi in vita mentre è a riposo, rende conto degli altri due terzi. Un aspetto interessante è che le regioni del corpo con le maggiori esigenze energetiche sono cervello e alcuni organi interni come cuore e reni, non certo l'apparato muscolo-scheletrico, sebbene un allenamento intenso come per esempio il *body building* possa stimolare modestamente il metabolismo basale.

Inoltre, come chiunque abbia raggiunto la mezza età sa fin troppo bene, il metabolismo cambia nel tempo. Le persone più anziane hanno bisogno di meno calorie per mantenere in attività il corpo rispetto alla loro giovinezza. Il tasso metabolico basale differisce anche fra individui. Uno studio pubblicato nel 1986 ha misurato i tassi metabolici di 130 persone di 54 famiglie. Dopo aver considerato le differenze di età, genere e composizione del corpo, i ricercatori hanno riferito che tra le famiglie c'era una variabilità di circa 500 calorie al giorno. L'ineludibile conclusione: quando si tratta di tasso metabolico e della capacità individuale di perdere o mantenere il peso, la parentela fa la differenza.

SCOPERTE

L'equazione dell'energia

Le leggi della termodinamica si applicano agli organismi proprio come a qualsiasi altra cosa nell'universo. Il numero di calorie che assorbiamo dal cibo deve essere equivalente al numero di calorie che il nostro corpo consuma o immagazzina. Ma i metodi più semplici per bilanciare questa equazione non sono necessariamente quelli che valgono di più nella vita. Gli individui, per esempio, non elaborano tutti i cibi con la medesima efficacia. E persone diverse richiedono differenti quantità di energia semplicemente per mantenere il metabolismo basale del proprio corpo. Il grafico illustra alcune complessità note.

Fonte: U.S. Department of Agriculture Food Composition Databases (*dati sul cibo*); *High-Protein Weight-Loss Diets: Are They Safe and Do They Work? A Review of the Experimental and Epidemiologic Data*, di Julie Eisenstein e altri, in «Nutrition Reviews», Vol. 60, n. 7, luglio 2002 (*dati effetto termico*)

Ma supponiamo che abbiate iniziato a perdere peso. Naturalmente, tasso metabolico e fabbisogno calorico devono diminuire, via via che il vostro corpo diventa più piccolo, e questo significa che la perdita di peso rallenterà. È una questione di fisica: anche qui si applica ancora la prima legge della termodinamica. Ma il corpo umano è soggetto anche alla pressione dell'evoluzione, che avrebbe favorito quelli che potevano contare sulle proprie riserve energetiche diventando addirittura più efficienti nei consumi. In effetti alcuni studi dimostrano che il tasso metabolico crolla in qualche modo più di quanto ci si aspetterebbe durante una perdita di peso attiva. Una volta che il peso di un individuo si è stabilizzato a un livello nuovo e più basso, l'attività fisica può aiutare a mantenere il peso compensando le ridotte esigenze energetiche di un corpo più piccolo.

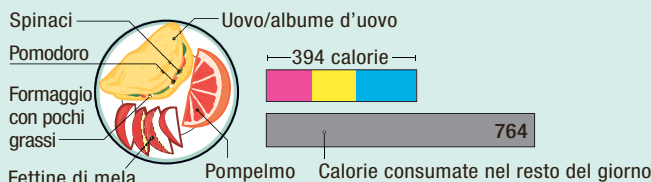
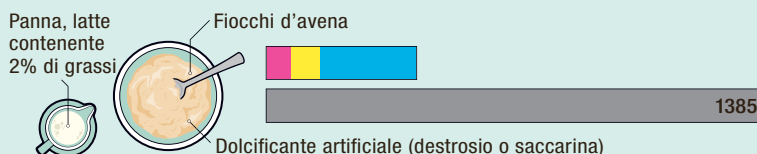
Cervelli affamati

Le variazioni nei cosiddetti fattori di Atwater, che misurano contenuto energetico dei cibi e tassi metabolici non sono la fine della storia. Una mole crescente di ricerche ha dimostrato che il cervello ha ruolo centrale, coordinando i segnali provenienti da un'ampia gamma di sensori fisiologici nel corpo, mentre ci avverte della presenza di cibo. Il cervello genera quindi sensazioni di fame e tentazione per essere sicuri che mangiamo.

In altre parole, il ruolo della fame è stato per lungo tempo mantenerci in vita, quindi non ha senso combatterla direttamente. Invece, fra le chiavi per una gestione di successo del peso c'è innanzitutto prevenire la comparsa di fame e tentazione.

Test di alimentazione con un singolo pasto effettuati da diversi laboratori, incluso il nostro, dimostrano che pasti più ricchi di proteine o fibre, o pasti che non causano un improvviso picco nei livelli di zucchero nel sangue (glucosio) sono generalmente più soddisfacenti e più efficaci nel sopprimere la fame. (I carboidrati sono la fonte più comune di glucosio nel sangue, ma anche le proteine possono generarlo). Un riassunto che uno di noi (Roberts) ha pubblicato nel 2000 indicava che il consumo calorico nelle ore che seguono una colazione con un cosiddetto indice glicemico elevato (pensate a una colazione con cereali raffinati) aveva un impatto del 29 per cento più elevato rispetto a quello di un pasto mattiniero a base di cibi con basso indice glicemico (chicchi di avena frantumati o uova strapazzate).

In effetti di recente il nostro gruppo ha ottenuto dati preliminari che dimostrano come sia possibile ridurre la fame durante la perdita di peso scegliendo cibi giusti. Prima di assegnare 133 volontari a uno di due gruppi, abbiamo chiesto loro quanto spesso, dove e quanto intensamente si sentivano affamati. Quindi abbiamo diviso a caso i partecipanti assegnandoli a un programma di riduzione del peso che enfatizzava cibi ricchi di proteine e fibre e con basso indice glicemico (pesce, fagioli, mele, verdure, pollo grigliato e cereali integrali, per esempio), o a una «lista d'attesa» che ci è servita come gruppo di controllo.

Nel corso di sei mesi, i membri del gruppo sperimentale hanno riferito di livelli di fame che erano diminuiti al di sotto dei valori misurati prima dell'inizio del programma. Abbiamo anche nota-

Fonti: *Human Energy Requirements: Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation*, World Health Organization, Food and Agriculture Organization e United Nations University, FAO, 2001 *(dati metabolismo basale)*; *High Glycemic Index Foods, Overeating, and Obesity*, di David S. Ludwig e altri, in «Pediatrics», Vol. 103, n. 3, marzo 1999 *(dati indice glicemico)*

to una differenza a livello di bilancia. Alla fine dello studio queste persone avevano anche perso una media di 8 chilogrammi, mentre il gruppo di controllo aveva guadagnato 900 grammi.

Inoltre il gruppo di intervento aveva sperimentato meno volte un desiderio forte e irrefrenabile di cibo, indicando che quello che il loro cervello percepiva come piacevole era cambiato. Abbiamo poi sottoposto a scansione il cervello di 15 volontari mentre guardavano immagini di un'ampia gamma di cibi. I risultati hanno mostrato che il centro di ricompensa del cervello diventava più attivo nel tempo nel gruppo di intervento in risposta a immagini di pollo grigliato, sandwich di pane integrale e cereali ricchi di fibre. Nel frattempo il cervello dei membri di quel gruppo iniziava a rispondere meno a immagini di patatine fritte, pollo fritto, dolci al cioccolato e altri cibi che fanno ingrassare.

Diete personalizzate

Le differenze nelle capacità di ridurre la fame da parte di alcuni cibi, nell'efficienza con cui sono assorbiti, e la reale, sebbene limitata, capacità del nostro metabolismo di adattarsi a cambiamenti dell'apporto calorico rendono la gestione del peso un sistema complesso. Continuiamo a trovare circostanze speciali che influiscono in modo differente su varie persone. Per esempio, è un fatto consolidato che la maggior parte degli obesi secerne livelli proporzionalmente più alti di insulina, l'ormone che aiuta il corpo a metabolizzare il glucosio. Questa cosiddetta insulino-resistenza porta a molti altri problemi metabolici, come un maggior rischio di infarto o il rischio di sviluppare diabete di tipo 2.

Quando abbiamo inserito queste persone in un programma di perdita di peso che durava sei mesi e che aveva più proteine e fibre, meno carboidrati e un basso indice glicemico abbiamo scoperto che perdevano più peso rispetto a quanto avrebbero fatto con una dieta ad alto contenuto di carboidrati e un indice glicemico elevato. Le persone con bassi livelli di insulina, al contrario, ottenevano risultati altrettanto buoni grazie a diete con un rapporto più alto o più basso di proteine e carboidrati, così come nell'indice glicemico.

Oggi aiutiamo regolarmente i volontari delle nostre ricerche a perdere peso e a consolidare i risultati ottenuti. Sebbene il nostro studio su 133 volontari descritto prima sia durato sei mesi, abbia richiesto ai partecipanti di intervenire a incontri settimanali e di rispondere a e-mail durante la maggior parte del tempo, soltanto l'11 per cento ha lasciato lo studio. Alcuni si sono addirittura messi a piangere all'ultima visita dei ricercatori perché non volevano congedarsi. Non solo avevano perso peso, avevano anche ottenuto un successo decisamente maggiore delle loro aspettative, al punto che si sentivano trasformati dal punto di vista fisico e psicologico. Per usare le parole di uno dei partecipanti: «La scienza aveva funzionato». ■

PER APPROFONDIRE

Eating Behaviors as Predictors of Weight Loss in a 6 Month Weight Loss Intervention. Batra P. e altri, in «Obesity», Vol. 21, n. 11, pp. 2256-2263, novembre 2013.

The Crown Joules: Energetics, Ecology, and Evolution in Humans and Other Primates. Pontzer H., in «Evolutionary Anthropology», Vol. 26, n. 1, pp. 12-24, gennaio-febbraio 2017.

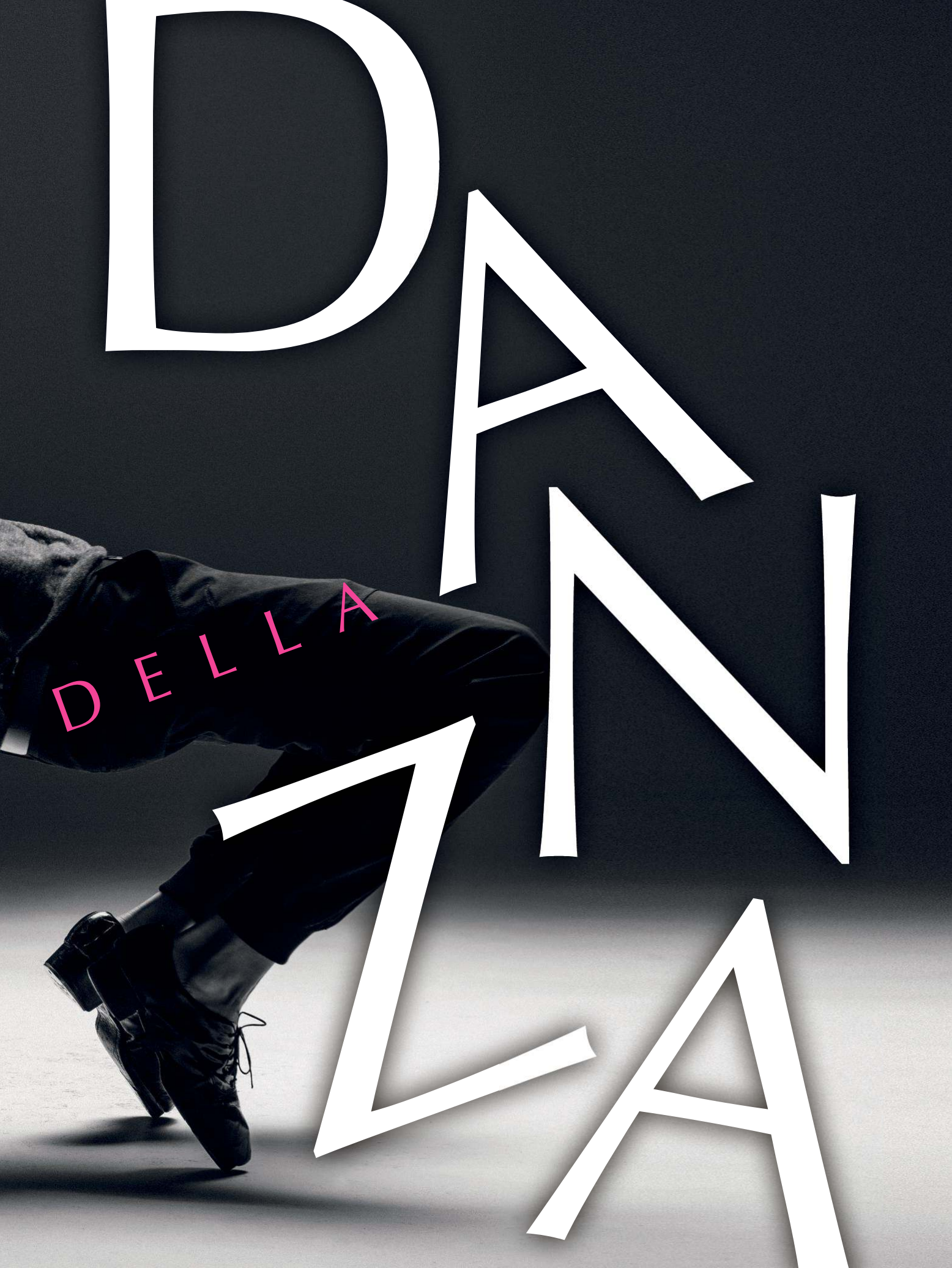
Il programma di Roberts per perdere peso: **www.theidiet.com.**

Il paradosso dell'attività fisica. Pontzer H., in «Le Scienze» n. 584, aprile 2017.

L'EVOLUZIONE

La capacità di ballare propria degli esseri umani è solo un beneficio accessorio della posizione eretta e del grande cervello oppure i suoi vantaggi sociali furono tali da facilitare la sopravvivenza dei nostri antenati?

di Thea Singer

Jeremy Jackson/Gallery Stock

DELLA
DANZA

Il tango argentino è famoso per essere un ballo difficile ma elettrizzante; per capirne il motivo basta dare un'occhiata a una performance dei ballerini professionisti Mora Godoy e José Lugones. Avvolti in uno stretto abbraccio o piroettando in una *colgada*, Godoy e Lugones si rincorrono per la sala in un turbinio vorticante di passi. Quando lei porta avanti una gamba, lui subito risponde agganciandola con la propria. Senza esitazioni, la coppia segue l'alternanza del fraseggio musicale a due e a quattro tempi, in una perfetta sincronia di ancheggiamenti, torsioni e contrapposizioni.

1

2

3

Ovviamente, non tutti sono in grado di muoversi con la grazia altera di questi esperti ballerini; eppure ciascuno di noi ha sentito, una volta o l'altra, il richiamo della danza, che nel corso di tutta la storia umana ha coinvolto innumerevoli partecipanti trasversalmente a tutte le culture. Tuttavia la danza è un oggetto raro nel mondo animale e, nonostante poche altre specie siano in grado di muovere il corpo al ritmo della musica, nessuna si avvicina nemmeno lontanamente alla complessità del modo di ballare degli esseri umani.

Perché la danza dovrebbe essere una caratteristica così comune negli esseri umani, e perché siamo ballerini così bravi? Negli ultimi anni gli scienziati hanno iniziato a identificare le funzioni del corpo e del cervello alla base di questa nostra eccezionale abilità; alcune di esse sono legate al linguaggio e alla postura eretta, due tratti che hanno contribuito in modo significativo al successo della nostra specie. È possibile che la danza sia un fortunato incidente evolutivo, un sottoprodotto di quelle altre caratteristiche che, grazie alla selezione naturale, hanno aiutato i nostri antenati a prosperare. Tuttavia, dal mondo della psicologia e dell'archeologia arrivano segnali che sembrano suggerire un'altra sorprendente possibilità: la danza potrebbe essersi evoluta come adattamento, consentendo il rafforzamento dei legami sociali in modi che miglioravano la sopravvivenza.

Sentire il ritmo

Ridotta ai suoi elementi di base, la danza è l'atto di sentire e prevedere l'ordine nel tempo di suoni esterni e accoppiarli a movimenti ritmati del corpo: tutte azioni che richiedono un notevole coordinamento fra diverse regioni del cervello.

Nell'ultimo decennio i ricercatori hanno iniziato a identificare reti di cellule nervose che, dalle profondità del cervello umano, agiscono insieme per isolare il ritmo dai segnali acustici esterni. Una volta che queste reti hanno identificato lo schema alla base del ritmo, sono in grado di prevedere la cadenza dei tempi successivi, e fondamentalmente generano all'interno della nostra scatola cranica una disposizione analoga. La tappa successiva è ciò che rende possibile la danza: le parti del cervello che controllano i muscoli si attivano in congiunzione con la ritmica prevista dalle reti neurali preposte all'udito. Queste regioni cerebrali responsabili della cosiddetta pianificazione del movimento, per inciso, entrano in azione anche quando stiamo fermi e ci limitiamo a *percepire* un ritmo. L'accoppiamento del trattamento dei segnali acustici e del movimento fisico ritmato è alla base della nostra capacità di tenere il tempo tamburellando con le dita, o di ballare il valzer. Gli scienziati lo chiamano «adeguamento» o, in inglese, *entrainment*.

Tranne in caso di disfunzioni particolari, noi esseri umani arriviamo all'entrainment in modo naturale e siamo in grado di

IN BREVE

La danza riveste un ruolo importante in qualsiasi società umana. Questa ubiquità implica un vantaggio per la sopravvivenza oppure si tratta unicamente di un sottoprodotto accidentale di un grande cervello e della postura eretta?

La capacità di danzare dipende da un processo neurologico in cui i neuroni motori, che controllano i muscoli, si allineano con i segnali acustici rilevati dai neuroni sensoriali.

Fino a poco tempo fa i ricercatori pensavano che l'adeguamento fosse esclusivo degli esseri umani, mentre si tratta di una capacità che hanno dimostrato di avere anche i colibrì, i pappagalli e un'otaria della California.

Ulteriori ricerche in un'ampia gamma di discipline rivelano che le origini della danza sono complesse, e potrebbero anche non essere mai comprese fino in fondo.

Thea Singer è una giornalista scientifica i cui articoli sono comparsi, tra gli altri, su *Washington Post*, *Psychology Today* e *MIT Technology Review*. Insegna giornalismo scientifico al Massachusetts Institute of Technology.

Musica da tutto il mondo: bambini impegnati in una classica danza indiana a Mumbai, India (1); due appassionati di breakdance (2); danzatrici contemporanee che fanno sfoggio di grazia e flessibilità (3); ballerine del Teatro Bolshoi perfettamente allineate (4); una parata di strada con ballerini a Cuba (5).

Linda Vartoogian/Getty Images (4); Christopher Pillitz/Getty Images (5)

continuare a muoverci ritmicamente per lunghi periodi seguendo un'ampia gamma di tempi diversi. «Le nostre capacità di sincronizzazione – secondo Aniruddh D. Patel, neuroscienziato della Tufts University – sono straordinariamente flessibili. Continuiamo ad andare a tempo anche se il ritmo rallenta o accelera del 30 per cento in più o in meno». Gli psicologi hanno osservato la caratteristica dell'entrainment già in lattanti di sei mesi, quando chi si prendeva cura di loro stava cantando e li cullava.

Per anni gli scienziati hanno creduto che soltanto gli esseri umani fossero capaci di adeguare il proprio comportamento fisico ai suoni esterni. Nel 2009, tuttavia, cominciarono a esserci studi che mostravano che anche i pappagalli, i colibrì e forse persino i passeri sono in grado, fino a un certo punto, di muoversi a tempo con la musica; per esempio Snowball, un esemplare maschio di cacatua, era solito far ondeggiare la testa in alto e in basso seguendo il ritmo delle canzoni dei Backstreet Boys. Nel 2013 alcuni ricercatori hanno documentato che un'otaria della California (un tipo di leone marino) chiamata Ronan era in grado di muovere la testa andando a tempo con una discreta varietà di musiche diverse.

Gli esseri umani, tuttavia, sono gli unici animali in grado di coordinare precisamente i movimenti nel modo richiesto dai balli di coppia o di gruppo. Secondo Patel, gli uccelli in grado di adeguarsi al ritmo si muovono seguendo la musica in modo indipendente; anche quando più pappagalli vivono insieme nello stesso riparo, non coordinano i propri movimenti con quelli dei compagni, né danzano insieme a loro.

Il gioco dell'imitazione

La danza non è l'unico attributo umano che dipende dall'entrainment. Anche la parola e il canto richiedono la capacità di accoppiare il suono ai movimenti fisici, in particolare quelli delle corde vocali e dei muscoli della gola. Mentre ritracciava i percorsi neurali coinvolti nella vocalizzazione, Patel ebbe l'idea di un possibile meccanismo di evoluzione dell'adeguamento tra i nervi che elaborano il suono e quelli che controllano i muscoli; il suo lavoro suggerisce che le stesse innovazioni neurali che consentirono all'uomo di imparare a produrre il linguaggio orale ci abbiano predisposto a diventare ballerini.

Secondo Patel, l'abilità di imitare i suoni aprì la strada a un entrainment predittivo e flessibile. Questa capacità imitativa dimostra ciò che i ricercatori chiamano «apprendimento vocale», o *vocal learning*: l'animale ascolta attentamente un suono, se ne forma un modello mentale, adegua a questo modello il controllo motorio di gola, lingua e bocca ed è così in grado di produrre il suono modellizzato. Successivamente l'animale ascolta il risultato, si accorge delle discrepanze tra il suono previsto e quello emesso, le corregge e riprova. Patel suggerisce che il fatto di accoppiare l'elaborazione acustica e motoria, azione necessaria per imitare i suoni, abbia gettato le basi neurologiche del processo più tardivo e complesso dell'entrainment uditivo-motorio predittivo.

Perché l'apprendimento vocale si sarebbe evoluto in alcuni animali e non in altri? Secondo alcuni scienziati, potrebbe aver permesso ai passeri di padroneggiare manifestazioni acustiche complesse ai fini del corteggiamento. Patel ritiene che, nel caso dei pappagalli, abbia offerto «una targhetta di riconoscimento acustica: qualcosa che segna l'appartenenza al gruppo, un accento particolare che distingue il membro di uno stormo da quello di un altro stormo».

Se l'ipotesi di Patel secondo cui l'imitazione vocale sarebbe una precondizione necessaria dell'entrainment uditivo-motorio è corretta, gli unici animali in grado di metterlo in atto dovrebbero essere quelli già capaci di imitare i suoni. A oggi, sappiamo che possono imitare suoni esterni soltanto gli esseri umani, i colibrì, i pappagalli, i passeri, le balene, certi mammiferi marini con gli arti modificati in pinne (i pinnipedi, ossia foche e leoni marini), gli elefanti e alcune famiglie di pipistrelli. Per contro, due tra i nostri parenti più stretti, bonobo e scimpanzé, non sono *vocal learner*, né sono dotati della capacità dell'entrainment. È possibile insegnare loro a battere il tempo, ma non sono davvero in grado di seguire il ritmo: hanno sempre un ritardo di circa 200 millisecondi, cosa che, secondo Patel, «suggerisce che si tratti di un comportamento reattivo, anziché predittivo».

Queste osservazioni confortano l'idea che l'imitazione vocale possa essere un precursore necessario dell'entrainment, ma non è detto che siano conclusive. Dimostrare la presenza dell'entrainment in specie diverse dall'uomo non è facile. Pensiamo ai complicati duetti di alcune specie di passeri: i turni di canto si alternano perché gli uccelli stanno tenendo il tempo (e sono in grado di prevedere quando il compagno finirà) oppure quel che succede è che un esemplare si limita a reagire al silenzio del proprio partner? E quale test potrebbe aiutarci a dirimere la questione?

Il problema più grande dell'ipotesi di Patel sull'imitazione vocale, tuttavia, è quello posto da Ronan, il leone marino che muoveva la testa.

I leoni marini non sono noti per essere *vocal learner*, nonostante siano imparentati con foche e trichechi, che invece lo sono. Alcuni ricercatori dell'Università della California a Santa Cruz, nel 2013, hanno però dimostrato che Ronan era in grado di muovere la testa andando a tempo con alcuni ritmi abbastanza semplici e, più tardi, anche più complessi; ulteriori esperimenti mostrarono che era addirittura capace di continuare a seguire il ritmo quando questo accelerava o rallentava.

Ci sono molte possibili spiegazioni per l'apparente perizia di Ronan: forse era semplicemente un leone marino molto dotato, la cosiddetta eccezione che conferma la regola, oppure è possibile che i leoni marini abbiano ancora le strutture neurali deputate all'imitazione vocale, ma non le usino più.

Una caratteristica degna di nota della danza umana è che tendiamo a praticarla insieme ad altri, instaurando una reciprocità fisica ed emotiva

Dimensione globale: danza tribale in Uganda (6); danzatori adolescenti in posa negli Stati Uniti (7); ballerini ebrei in una strada di Londra (8); la danza dei dervisci rotanti a Istanbul (9); alcune geishe si esibiscono con i ventagli in Giappone (10); ballerini di salsa si scatenano sull'isola di Cuba (11).

6

7

8

È anche possibile, ovviamente, che le prodezze di Ronan dimostrino che l'ipotesi dell'imitazione vocale è sbagliata. Patel e altri pensano che un possibile test sarebbe capire se è possibile insegnare l'entrainment ai cavalli, che non sono dei *vocal learner* né sono imparentati con alcuno di loro. Se dovessimo scoprire che anche questi animali possono imparare l'entrainment, forse non si tratta di un processo poi così difficile, ed è possibile che, molto semplicemente, la maggior parte delle specie non ne abbia bisogno per sopravvivere. Al momento sono in corso ricerche che cerchino di determinare che cosa succede nel caso degli equini.

Serve per correre?

A differenza di quanto accade per altre creature, negli esseri umani la danza va ben oltre lo scuotere la testa di qua e di là, includendo movimenti coordinati del torso e degli arti. Come potrebbe aver influenzato la nostra capacità di ballare l'evoluzione della nostra inconsueta postura eretta? Secondo un'idea che ha guadagnato attenzione negli ultimi anni, la danza potrebbe essere emersa dal fatto che siamo in grado di correre su due gambe, non soltanto camminare. «Non c'è dubbio che, per danzare, sfruttiamo il fatto di essere bipedi», afferma il biologo evoluzionista Daniel E. Lieberman, della Harvard University, che nel 2004 è stato coautore di un influente articolo pubblicato su «Nature» a proposito del ruolo della corsa di resistenza nell'evoluzione umana. «Ci siamo evoluti per camminare e correre, per lanciare e per scavare», commenta Lieberman. La selezione naturale ha favorito queste caratteristiche, che hanno consentito ai nostri antenati, soprattutto *Homo erectus*, di migliorare sensibilmente la propria capacità di cacciare e procurarsi il cibo.

«C'è una serie di affascinanti adattamenti che pensiamo si siano evoluti per la corsa», continua Lieberman. Per esempio le dita del piede dell'uomo moderno sono molto più corte di quelle dei nostri antenati, cosa che non è necessaria per camminare da un punto di vista biomeccanico, ma favorisce l'efficienza nella corsa. Nel corso dei millenni, le dimensioni dei tre canali semicircolari dell'orecchio interno sono aumentate, consentendoci di mantenere l'equilibrio ogni volta che muoviamo la testa e permettendoci così di essere più agili e veloci. Tutti questi adattamenti sono utili anche per ballare.

Dal punto di vista di Lieberman, la danza potrebbe essere una conseguenza fortuita dell'evoluzione della corsa, rivelatasi poi abbastanza utile da avere un proprio vantaggio selettivo. «Non deve essere o tutto o niente», continua il biologo. «Potrebbe anche essere successo soltanto in parte; è possibile che la danza sia stata oggetto di selezione, o non lo sia mai stata, ma è anche possibile che lo siano stati solo alcuni suoi elementi. La cosa veramente difficile è testare queste ipotesi».

Uno sforzo di gruppo

Osservare i ballerini contemporanei ci offre alcuni indizi stimolanti sui vantaggi che saper ballare potrebbe averci conferito nel nostro passato evolutivo. Una caratteristica degna di nota della danza umana è che tendiamo a praticarla insieme ad altri; il sentire e prevedere i movimenti del partner instaura tra gli individui una reciprocità fisica ed emotiva, che si tratti di un ballo di coppia come il tango o di una massa di ragazzini che si dimenano ascoltando la band britannica *The 1975*.

Questa capacità di gruppo rappresenta ciò che potremmo chiamare adeguamento sociale, e conferisce quello che Emile Durkheim, che contribuì a fondare la sociologia alla fine del XIX secolo, definì «effervescenza collettiva»: il sentimento di essere parte di qualcosa di più grande di se stessi. Questo tipo di coesione sociale potrebbe avere un valore per attività essenziali per la sopravvivenza come procurarsi il cibo o evitare i predatori.

George F. Mobley/National Geographic (6); Getty Images (7); Dan Kitwood/Getty Images (8)

Edward Hagen, antropologo della Washington State University Vancouver spinge questa idea ancora oltre, ipotizzando che la musica e la danza potrebbero essersi evolute come modo per gli individui di valutarsi reciprocamente quando cercano di formare alleanze che vanno al di là dei legami di parentela; per esempio, il fatto che un gruppo riesca a ballare bene insieme può essere un indizio del funzionamento di una coalizione di portata più vasta tra i suoi membri.

Una maggiore coesione sociale offre anche vantaggi fisiologici. Uno studio condotto nel 2010 da scienziati dell'Università di Oxford mostra che l'attività fisica sincronizzata guidata da un obiettivo comune (in quel caso, vogare in un club di canottaggio universitario) accresce in modo significativo nei partecipanti la soglia di tolleranza del dolore rispetto a quanto succede in un allenamento in solitaria. Gli autori attribuirono questo aumento al rilascio di endorfine, oppioidi naturali presenti nelle aree del cervello associate all'umore. Robin I.M. Dunbar, antropologo e psicologo evoluzionista dell'Università di Oxford, sostiene che queste endorfine rafforzino i legami sociali anche quando le persone si impegnano in attività musicali di gruppo.

«Prendiamo due società, una che non ha mai danzato e un'altra che invece lo fa: in quest'ultima i legami sociali sarebbero molto più solidi», secondo l'archeologo Clive Gamble, professore presso l'Università di Southampton, nel Regno Unito. Se le due società dovessero trovarsi a competere, continua Gamble, quella abituata alla danza «avrebbe un vantaggio evolutivo».

Considerata la scarsità di prove dirette delle origini della danza, scienziati di varie discipline hanno cercato di ottenere indizi sul nostro passato ancestrale studiando il comportamento delle poche società di cacciatori-raccoglitori rimaste. Il loro stile di vita costituisce probabilmente per gli antropologi la più vicina approssimazione di ciò che potevano essere le società umane prima della diffusione dell'agricoltura, circa 10.000 anni fa.

L'antropologa evoluzionista Camilla Power, della University of East London, studia la popolazione Hadza, della Tanzania del nord; questo gruppo vive tipicamente in «accampamenti» di 20 o 30 persone in cui uomini e donne godono di parità sociale. Altri gruppi simili sono i Bayaka della Repubblica Centrafricana e i San del deserto del Kalahari. Nel corso delle generazioni, secondo Power, la danza ha unito emotivamente questi gruppi in «narrazioni condivise», nelle quali i partecipanti mettono in atto, tra le altre cose, iniziazioni, rituali di guarigione e relazioni tra i generi. Tra gli Hadza, i principali rituali di danza contengono finte «battaglie dei sessi» in cui le donne stuzzicano gli uomini e gli uomini rispondono a tono. «Questa dinamica è alla base dell'egualitarismo», secondo Powell. Consolidando il proprio potere, le donne interpretano ruoli maschili oppure pungolano gli uomini ad andare a caccia in cambio della promessa di «coccole».

Esistono prove indirette che queste danze di gruppo si ripetono ormai da millenni. Luoghi di aggregazione in cui gli archeologi hanno scoperto numerose impronte umane e strumenti musicali preistorici indicano che queste attività sono state praticate da popolazioni del Paleolitico superiore; nel sito di Isturitz, una grotta nei Pirenei francesi, sono stati ritrovati flauti in osso risalenti a un periodo variabile tra 35.000 e 20.000 anni fa.

«Da altre testimonianze archeologiche emerge chiaramente che molti gruppi diversi si riunivano in questi siti in particolari momenti dell'anno», spiega il paleoantropologo Ian Morley, autore del libro del 2013 *The Prehistory of Music: Human Evolution, Archaeology, & the Origins of Musicality*. «Quando vediamo attività di queste dimensioni nelle società odierne di cacciatori-raccoglitori, la musica e la danza sono presenti».

Di conseguenza, secondo Morley, probabilmente gli antenati dell'uomo hanno prodotto musica e ballato per decine di migliaia di anni: un tempo ampiamente sufficiente perché l'evoluzione abbia influito sui risultati.

9

10

11

Gurcan Ozturk/Getty Images (9); Frank Carter/Getty Images (10); Nika Kramer/Gallery Stock (11)

Pur trattandosi di una tra le arti più elusive, si può affermare senza ombra di dubbio che la danza è una forma di comunicazione, tra i ballerini, ma anche tra loro e chi li osserva. Chi danza, essenzialmente, sta condividendo un mondo fino ad allora rimasto nascosto.

Così facendo i danzatori stanno anche modificando il proprio cervello. Medici e ricercatori hanno riconosciuto i benefici della danza nel caso di persone affette da disturbi motori come il morbo di Parkinson. Molti pazienti che soffrono dei caratteristici sintomi del Parkinson come i tremori, la rigidità o la difficoltà a iniziare i movimenti possono riconquistare parte della propria capacità di adeguarsi al ritmo partecipando a corsi di danza che, come vantaggio collaterale, aiutano anche a stringere legami sociali, cosa talvolta resa difficile dalla malattia.

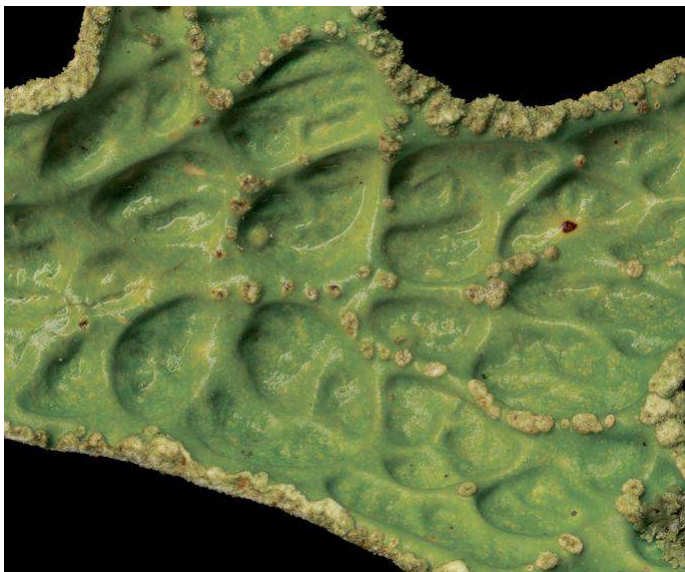
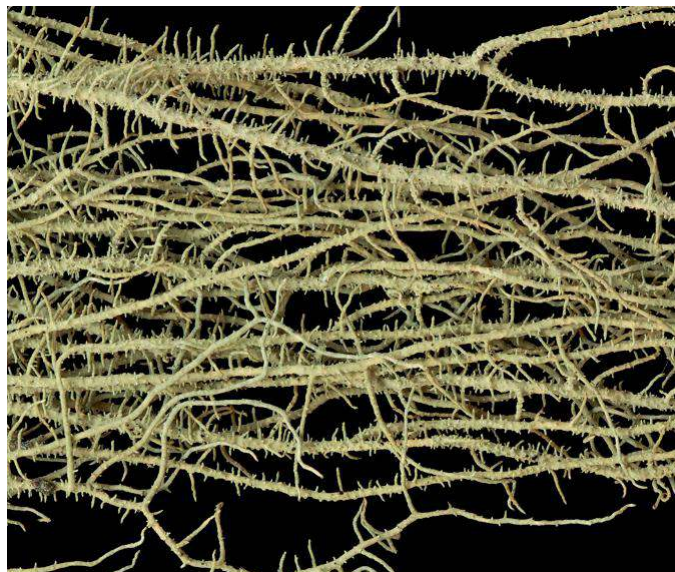
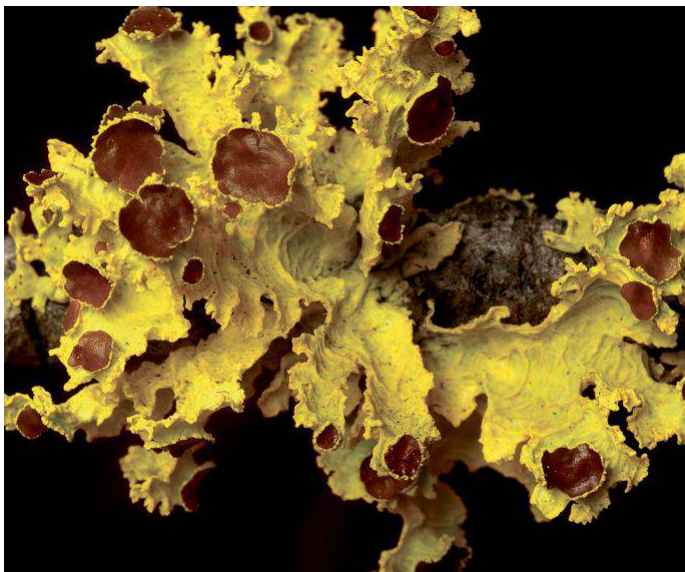
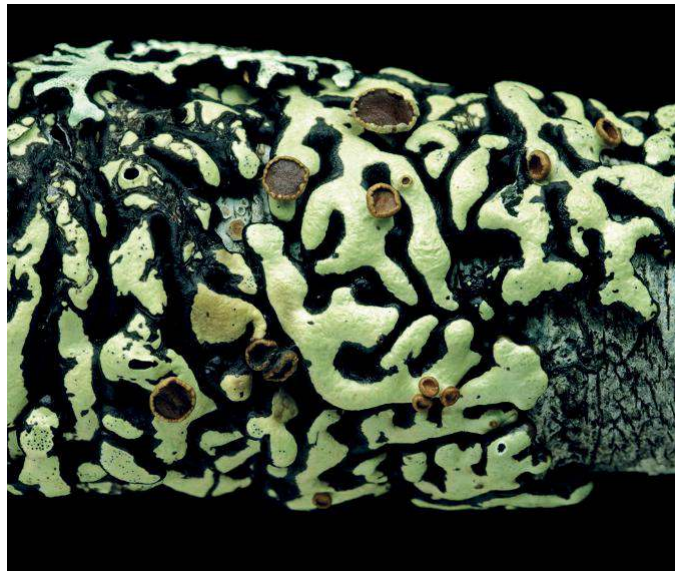
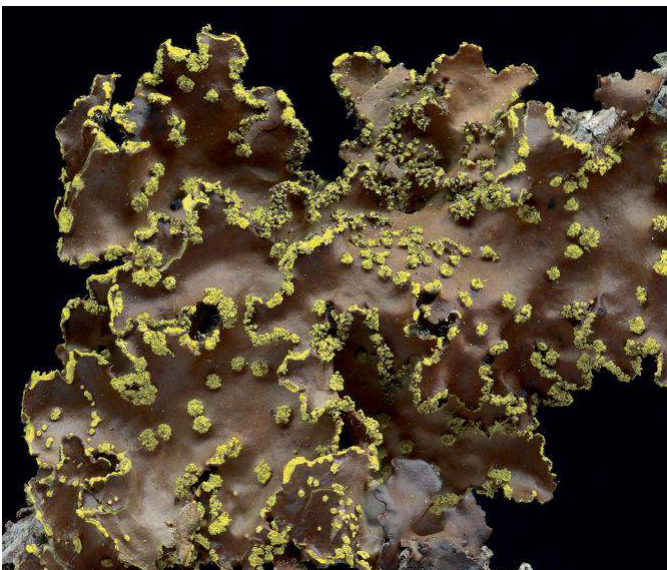
Le lezioni di danza rivolte ai malati di Parkinson, ovviamente, non intendono far emergere la prossima Isadora Duncan, ma possono ugualmente innescare importanti trasformazioni. La nostra comprensione dei modi in cui questa antichissima attività umana unisce corpo e spirito è appena iniziata. ■

PER APPROFONDIRE

Musical Rhythm, Linguistic Rhythm and Human Evolution, Patel A.D., in «Music Perception: An Interdisciplinary Journal», Vol. 24, n. 1, pp. 99-104, settembre 2006.

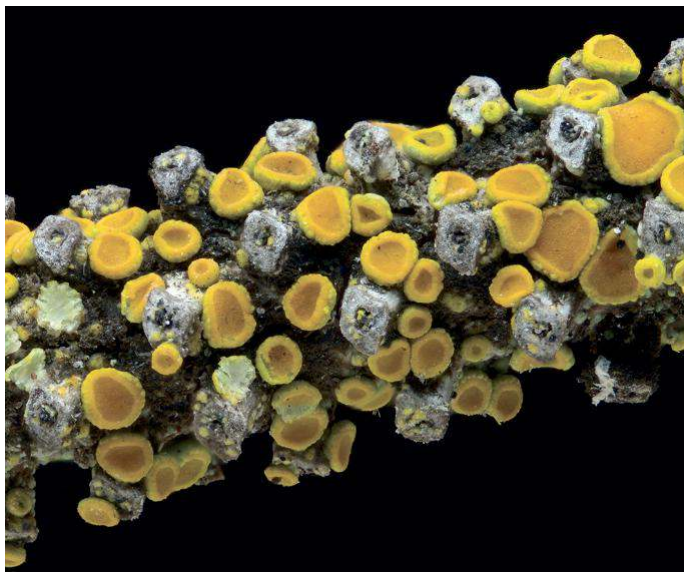
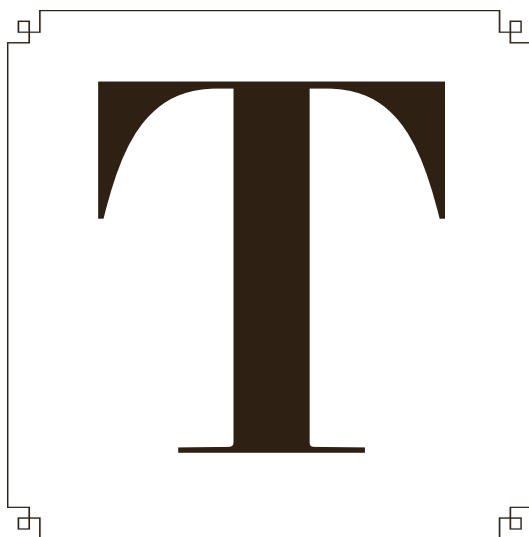
The Origins of Human and Avian Auditory-Motor Entrainment, Schachner A., in «Nova Acta Leopoldina», Vol. 111, n. 380, pp. 243-253, 2013.

Rhythmic Entrainment: Why Humans Want to, Fireflies Can't Help It, Pet Birds Try, and Sea Lions Have to Be Bribed, Wilson M. e Cook P.F., in «Psychonomic Bulletin & Review», Vol. 23, n. 6, pp. 1647-1659, dicembre 2016.

Il cervello che danza, Brown S. e Parsons L.M., in «Mente e Cervello» n. 45, settembre 2008.

BIOLOGIA

Il senso del lichene

Un naturalista autodidatta ha scoperto simbiosi nascoste nella foresta vergine della British Columbia, contribuendo ad abbattere idee scientifiche accettate da un secolo e mezzo

di Erica Gies

Erica Gies scrive di scienza e ambiente, e vive tra Victoria, British Columbia, Canada, e San Francisco. Collabora fra l'altro con «New York Times», «The Guardian», «The Economist», «Ensia» e «National Geographic».

Trevor Goward mi lascia andare avanti, così nella foresta mista andiamo secondo il mio passo. Questo, tanto per accennare al suo snello metro e novantacinque e alle rapide falcate con cui si muove per sentieri a malapena visibili di cervi e orsi sul suo terreno, adiacente al Wells Gray Provincial Park della British Columbia, in Canada. Ma più che altro vuole lasciare spazio alle mie osservazioni, al mio modo innato di vivere il paesaggio. Che cos'è che mi coinvolge? Com'è il mio sguardo?

Mi fermo di fronte a una piccola escrescenza bianco-verde sul tronco di un pioppo tremulo. «Guarda qui!», esclama con entusiasmo, invitandomi a sbirciare dentro il lichene, *Platismatia glauca*, con la lente d'ingrandimento. Di colpo mi trovo in un altro mondo, tra spire punteggiate di nero in piccole grotte spruzzate di polvere finissima.

Capelli bianchi, Goward indossa tre camicie di flanella; la giornata autunnale è frizzante. Una lente gli pende da un laccio intorno al collo, e una femmina di cane pastore australiano, Purple, gli trotterella accanto. Sembra più un montanaro che uno scienziato, un naturalista sulla linea di Charles Darwin o Henry David Thoreau. L'amore scientifico di Goward sono i licheni: quella crescite che sembrano piccoli muschi o crosticine colorate che crescono su alberi e sassi, ovunque. Goward è inseparabile da questo posto, dove ha trascorso la maggior parte della sua vita da adulto dopo esser cresciuto in una città a sud del parco. Oggi, a 64 anni, se ne allontana di rado.

«È diventato il mio centro di gravità spirituale», mi dice. Non è difficile capire il perché. La maggior parte del parco non ha strade d'accesso, e rari sono gli occhi umani che vi si posano. Wells Gray, mezzo milione di ettari, è stato plasmato da vulcani e ghiacciai; le sue valli fluviali, i ripidi monti rocciosi, i prati alpini e le zone su cui le cascate spargono nebbioline finissime alimentano una ricca biodiversità. «Sono arrivato a capire che i licheni di qui sono speciali», fra i più diversificati del mondo, dice soddisfatto. Le specie sono centinaia, e la conta non è ancora finita. L'acuta attenzione che dedica a questo posto, come nel caso del conservazionista Aldo Leopold e del suo amore per la Contea di Sauk, in Wisconsin, gli permette di vedere collegamenti che ad altri forse sfuggirebbero.

Goward si è imbattuto nella lichenologia mentre studiava, da autodidatta, le ramificazioni della natura. «Era un punto d'onore di studiare ogni anno tutto quello che potevo su un diverso gruppo tassonomico. Un anno gli uccelli, poi le piante, poi i funghi, o gli insetti». Quando è toccato ai licheni, è stato amore. Da allora, malgrado sia un autodidatta, è diventato l'esperto di riferimento nella British Columbia centrale per molte persone, dagli scienziati che studiano l'atmosfera ai cercatori d'oro, fino ai biologi che studiano i caribù. Il suo nome è stato dato a diverse specie di licheni. Ha pubblicato tre guide alla tassonomia dei licheni e si è guadagnato un posto come membro associato al Dipartimento di botanica dell'Università della British Columbia.

Eppure nel mondo scientifico Trevor Goward è un cane sciolto. I suoi radicali esperimenti mentali sui licheni, pubblicati in 12 provocatori saggi sul suo sito Ways of Enlichenment [un gioco di parole tra lichene, *lichen*, e Illuminismo, *Enlightenment*: più o meno, «Vie dell'Illuchenismo», N.d.T.] sono stati ridicolizzati e lodati: in larga misura però restano ignorati dalla maggior parte dei ricercatori, sia perché Goward non ha titoli di scientifici, sia perché molte delle sue idee non sono sostenute da dati rigorosi. Eppure le acute osservazioni e le profonde riflessioni di Goward si muovono nel solco degli approcci di Darwin e Thoreau: quelli che, molto più del lavoro di laboratorio, stanno alla base della teoria dell'evoluzione

IN BREVE

Trevor Goward, privo di titoli scientifici, ha contribuito a capovolgere le idee correnti sui licheni, e forse su ogni forma di vita, grazie all'osservazione ravvicinata della natura.

Le intuizioni di Goward, lodate da alcuni accademici e ignorate da altri, ricordano con forza che la biologia, e la scienza, potrebbero essersi allontanate troppo dal mondo naturale, e mostrano che anche gli outsider possono avere idee brillanti e che le forme di vita più durevoli potrebbero essere le reti, non gli individui.

Pagine precedenti: Tim Wheeler

Trevor Goward esamina un lichene, *Platismatia glauca*, su un pioppo tremulo. Le sue profonde osservazioni naturalistiche hanno sconvolto la biologia, al pari di predecessori come Charles Darwin e Henry David Thoreau.

e dell'ecologia. Le persone che sono disposte a considerare le sue idee dicono che allargano la mente e danno molto da pensare, sui licheni, la biologia e la vita in genere. Tom Spribille, vecchio amico e a volte coautore di Goward, e lichenologo dell'Università dell'Alberta, in Canada, afferma che nei saggi di Goward ci sono molte pepite d'oro: «Francamente, secondo me sono brillanti».

Nella foresta, Goward trasmette una gioia tranquilla ma esuberante, lo *yang* del suo *yin*: la sua cupa e realistica considerazione dell'umana follia. Quando ci fermiamo, si appoggia a un solido bastone e comincia lunghi soliloqui su come interagiscono i vari elementi dell'ecosistema. Leggendo i licheni capisce la chimica del terreno, gli andamenti delle piogge e i nutrienti delle piante. Mi mostra una specie che cresce su un abete del Canada, il che è insolito, perché di solito la corteccia delle conifere è troppo acida per sostentare questo tipo di licheni. E allora perché sono qui? In un lavoro del 2000, Goward e André Arsenault hanno trovato che la risposta dipende da un maturo esemplare di pioppo tremulo lì vicino. L'acqua che gocciola dai suoi rami porta via sostanze che colando sulla corteccia della conifera ne temperano l'acidità, consentendo al lichene di crescere. Lo hanno chiamato «effetto goccia».

Goward impara qualcosa da ogni forma di vita, compresa Purple, che ci aspetta con pazienza quando non è impegnata a compiere le sue, di osservazioni: escrementi di martora! Chiacchiere di scoiattoli rossi! Goward conosce il francese e il latino, e un po' di tedesco e svedese, però – osserva – «di questi tempi parlo più che altro lichenese, e magari un po' di linguaggio canino». Dice che impara qualcosa anche dal modo in cui vede le cose Purple. Può sembrare un'eccentricità, ma Goward rispetta le vie verso la conoscenza delle Prime Nazioni indiane; l'apprendimento dagli animali è una storica tradizione umana.

La scienza moderna tende a ignorare gli *outsider*. Ma il scienza riduzionistica non è il solo modo di conoscere le cose. I naturalisti sono stati i precursori della scienza. Un tempo gli esseri umani vivevano assai più vicino alla terra, ed erano acuti osservatori che avevano una comprensione profonda delle interazioni della natura. Oggi la biologia tende a concentrarsi sulle molecole e a volte il non saper alzare lo sguardo dagli strumenti di laboratorio per osservare davvero come interagiscono i vari pezzi nel mondo naturale ne mina le possibilità di scoperta. mUno sguardo clinico può far sì che agli scienziati sfuggano i collegamenti su larga scala, come l'idea, che sta cominciando a emergere, secondo cui le reti potrebbero essere forme di vita più durevoli degli individui.

In effetti è stata un'idea di Goward a ispirare il lavoro di laboratorio di Spribille mentre era post-doc all'Università del Montana. Un lavoro ripagato da un importante progresso: una copertina di «Science», a luglio 2016, che ha scosso l'anchilosato mondo della lichenologia. La scoperta ha rimesso in discussione la natura stessa della simbiosi dei licheni, illuminando di nuova luce il senso della simbiosi in tutti i campi della biologia, gli andamenti della selezione naturale e addirittura la questione di come definire le forme di vita.

Senza sostegno

I licheni sono onnipresenti e affascinanti. Forse hanno più di 500 milioni di anni, si trovano in tutti i continenti, prosperano in alcuni dei posti più inospitali della Terra. Sono sopravvissuti addirittura a un anno e mezzo nello spazio, esposti senza protezioni a raggi cosmici, radiazione UV e vuoto. Le circa 14.000 specie conosciute hanno forme svariate: dischi appiattiti su pietre, foglioline smerlate annidate tra il muschio, incrostazioni aderenti a

Erica Gies

cortecce d'albero, filamenti penduli dai rami, trombette dalla cima rossa.

Per secoli sono stati scambiati per piante (e poi per funghi). Poi, negli anni sessanta dell'Ottocento, il botanico svizzero Simon Schwendener scoprì che erano un'associazione tra un fungo (un organismo classificato in un regno a parte perché, contrariamente alle piante, non è in grado di produrre da solo il proprio nutrimento) e un'alga, un organismo che si alimenta mediante fotosintesi ma privo di radici e fusto delle piante. Apparentemente il fungo forniva al lichene la struttura, mentre l'alga, con la fotosintesi, forniva cibo al fungo. (In seguito si scoprì che in certi licheni a fornire il cibo è un cianobatterio, e una manciata di specie ha sia un'alga sia un cianobatterio, accanto al fungo.) La scoperta di Schwendener, che all'inizio trovò resistenza nella comunità scientifica, finì col fare dei licheni un classico esempio di simbiosi: un'interazione, con vantaggio reciproco, fra organismi diversi. Da allora la scienza ha trovato simbiosi ovunque, in natura; anche tra le migliaia di miliardi di microbi, non umani, aggrappati all'impalcatura dei nostri corpi.

Negli ultimi due secoli la scienza ha largamente visto molecole, cellule e specie come individui. La simbiosi sfida questa nozione. «In un lichene – dice Spribille – le cellule delle alghe e quelle dei funghi possono percepirsi l'un l'altra come individui, ma insieme costituiscono un lichene, che un caribù al pascolo vedrà a sua volta come un individuo: saporito». La selezione naturale avviene simultaneamente all'una e all'altra scala. Come la luce è sia onda sia particella, il fungo e l'alga sono sia individui sia parti di un intero. L'atteggiamento riduzionistico della scienza ha reso quasi impossibile una comprensione piena della simbiosi, dice Spribille. «L'ecologia doveva essere scienza dei processi e sintesi della natura, ma ha la schiena piegata sotto il peso della matematica dell'individualità».

Nel luglio 2016 Spribille e altri hanno compiuto un importante passo in avanti verso la comprensione di questi aspetti. La loro grande rivelazione è uscita su «Science»: molti licheni hanno dentro un secondo fungo.

Al cuore dello studio ci sono due licheni, segnalati a Spribille da Goward: *Bryoria fremontii*, filamentoso e spesso marrone, spesso mangiato dai popoli indigeni del nord-ovest, e *Bryoria tortuosa*, un lichene simile, spesso verde giallastro, tossico e con alti livelli di acido vulpinico. I due licheni ponevano un affascinante enigma. Nonostante le loro differenze, un'analisi genetica pubblicata nel 2009 da Saara Velmala dell'Università di Helsinki e colleghi, fra i quali anche Goward, mostrava che le due specie erano composte dello stesso fungo e dalla stessa alga. Spribille ricorda che questo sconcertante risultato ha continuato a turbarli. «Goward si chiedeva come facevano i due differenti licheni, uno dei quali era velenoso, a essere identici». Non riusciva a liberarsi da questa domanda. E da quando Goward ne ha scritto, «per estensione, non ci sono riuscito neanche io».

A parte l'aspetto e i livelli di acido vulpinico, Goward ha osservato che fra i due licheni ci sono anche piccole differenze ecologiche. Pur crescendo in parte negli stessi posti, *B. tortuosa* si trova solo ai margini del più vasto territorio di *B. fremontii*, quelli in cui l'estate è più secca. Nel 2009 Goward ha poi proposto che la forma dei licheni non venisse dal partner fungino ma dalla serie di decisioni prese durante la danza che avviene fra fungo e alga nel corso dello sviluppo. Un lichene può avere un aspetto diverso da un altro pur essendo composto dagli stessi partner, perché ha preso strade diverse durante lo sviluppo. Goward ha suggerito che la differenza tra le due specie di *Bryoria* potesse venire dal fatto che avevano un diverso rapporto con una terza forma di vita, un batterio.

Dopo cinque anni di lavoro di laboratorio Spribille e colleghi hanno scoperto che in entrambe le specie di *Bryoria* c'è in effetti un terzo partner, ma non è un batterio: è un altro fungo, un lievito basidiomicete. La specie tossica contiene il lievito in quantità molto più grande rispetto a quella commestibile. Il gruppo ha dimostrato anche che il lievito non è un contaminante ma si è evoluto insieme agli altri partner per oltre 200 milioni di anni. Allargando la ricerca a licheni di tutto il globo, gli autori hanno trovato il lievito in altri 52 gruppi (generi) di licheni. La scoperta ha prodotto uno spettacolare allargamento delle idee sui licheni in tutto il mondo, aprendo la strada ad altre intuizioni. «Solo adesso stiamo cominciando a vedere che i licheni hanno compiuto un'impresa davvero rara nell'evoluzione: un grande organismo, multicellulare, composto però interamente da microbi senza nessuna impalcatura di sostegno, e qui sta la cosa stupefacente», dice Spribille. «Autoassemblati e autoreplicanti, una generazione simbiotica dopo l'altra».

Esaminato con attenzione, *Bryoria fremontii* non contiene solo un fungo e un'alga, come si è creduto per molto tempo, ma anche un lievito.

Tim Wheeler

Goward ha iniziato a interessarsi a *B. fremontii* e *B. tortuosa* leggendo uno studio del 1977 di Nancy Turner, etnobotanica, sull'importanza di *B. fremontii* per i popoli delle Prime Nazioni indiane. La ricercatrice scriveva che le anziane riuscivano facilmente a distinguere i licheni commestibili da quelli che non lo erano. Pur potendo essere diverse per colore e, lievemente, per forma, le due specie possono anche avere aspetti molto simili. Per distinguerli, le anziane usano indizi come posizione, colore e tipi di li-

cheni adiacenti. Quando Stuart Crawford, amico di Goward e laureato in etnobotanica, ha mostrato vari fasci dei due licheni alla compianta Marry Thomas, anziana e conservazionista della tribù Neskonlith, la donna ha sempre identificato con esattezza quelli commestibili.

Il sapere delle popolazioni locali non concorda sempre con le spiegazioni scientifiche, dice Crawford, ma questo risultato, in base alle osservazioni, è corretto. Gli indigeni gli hanno detto che attendono la maturazione di *B. fremontii* sull'albero. I licheni in realtà non maturano come fanno frutti e ortaggi, ma il colore più scuro e il modo in cui cresce sugli alberi aiutano a distinguerlo dal suo gemello velenoso. Queste conoscenze di altro tipo su *Bryoria* sarebbero state interessanti come contesto per l'articolo su «Science» ma, dice Spribille, «non ho avuto abbastanza spazio».

Tre mesi dopo la pubblicazione del lavoro Crawford, che ha conosciuto Spribille tramite Goward, si è deciso a raccontargli una cosa stupefacente. Da anni raccoglieva testi di ogni parte del mondo – antico Egitto, Messico moderno, Russia medievale, Medio Oriente biblico, un libro di cucina europeo degli anni cinquanta – che menzionano l'uso di licheni nella preparazione di pane e bevande alcoliche. In qualche caso si dice esplicitamente che servivano per la lievitazione e la fermentazione. E si era reso conto che, a un certo livello, le persone avevano già capito che i licheni contenevano lieviti o potevano funzionare come tali. Quando studiava per il master a Victoria, nella British Columbia, Crawford aveva parlato dell'idea con un produttore di birra artigianale, che gli aveva detto: «Se trovi la ricetta, provo a farne un po'».

In *Bryoria tortuosa* il fungo e l'alga sono gli stessi di *B. fremontii*, che è commestibile; ma la concentrazione del lievito è assai più alta, e lo rende velenoso.

Tim Wheeler

Fuori dagli schemi

L'apertura di Spribille verso il modo di pensare poco convenzionale di Goward riflette forse le difficoltà che ha dovuto superare per arrivare alla scienza. È cresciuto in una famiglia di cristiani fondamentalisti nel nord-ovest del Montana, dove i genitori lo hanno tolto da scuola dopo la quinta elementare per proteggerlo «dalle influenze del mondo». Me lo dice via Skype dall'Austria, a tarda notte, mentre la moglie e la giovane figlia dormono. Gli occhi azzurri, incorniciati dagli occhiali rettangolari, spesso si stringono e si chiudono mentre parla, come se parlare con me fosse un po' doloroso.

Ambiente e circostanze però non sono riusciti a bloccare la sua curiosità intellettuale. Affascinato dagli organismi che vedeva nella natura incontaminata, si era messo a fare tante domande ai biologi di un locale avamposto dello U.S. Forest Service. Alla fine quei biologi lo avevano segnalato per un lavoro di rilevazione delle piante vascolari, e poteva rivolgere le domande che per lui erano importanti direttamente a professori e autori di libri. Nella lista c'era anche Goward. «Trevor mi aveva tenuto al telefono per due ore e mezza», ricorda Spribille con affetto. Questo, più di vent'anni fa. Ormai hanno scritto insieme diversi lavori, e «ancora non abbiamo esaurito le cose di cui parlare». Fin dai primi tempi Goward aveva detto a Spribille che aveva idee che avrebbero sconvolto la lichenologia. «Disse che mi illudevo», ricorda Goward. «Però voleva sentire quello che pensavo».

Alla fine Spribille ha sentito con forza il desiderio di una formazione sistematica: ha preso la maturità da privatista, ha avuto l'opportunità di andare all'università in Germania. In seguito ha conseguito un PhD in lichenologia all'Università di Graz e a marzo scorso è entrato in servizio come *assistant professor* di ecologia ed evoluzione delle simbiosi all'Università dell'Alberta. Dopo il dottorato, quando lavorava all'Università del Montana, ha conosciuto John McCutcheon, uno degli altri autori del lavoro pubblicato su «Science» e capo del laboratorio in cui è stato svolto il lavoro. McCutcheon attribuisce il merito della scoperta ai progressi tecnologici che hanno permesso di trovare quel minuscolo lievito e alla cooperazione tra ricercatori di ambiti diversi tra loro. Ma essenziale, aggiunge, è stata la capacità di Spribille di guardare al di là di quello che era stato assunto come vero. Se questo lievito è rimasto nascosto tanto a lungo, dice, in parte è per la tendenza della mente umana a mettere limiti a se stessa: «Quando sei abituato a pensare che lì c'è un fungo solo, vedi solo quello».

Spribille riconosce a sua volta che Goward ha avuto «un'enorme influenza sul mio pensiero. I suoi saggi mi hanno fatto sentire libero di riflettere sui licheni in maniera non ortodossa e dato la libertà necessaria per vedere in *Bryoria* quello che poi sono riuscito a chiarire insieme ai miei coautori». Tuttavia anche così, dice Spribille, «una delle cose più difficili è stata rimanere con la mente aperta all'idea che 150 anni di letteratura scientifica potessero aver bucato la possibilità teorica che alla simbiosi dei licheni potesse partecipare più di un solo partner fungino».

Pur apprezzando l'istruzione ricevuta, Spribille sostiene che l'importanza data negli studi accademici al canone di quello che altri hanno stabilito essere importante è un limite di per sé. «Abbiamo questa cultura delle menti preparate che rende estremamente difficile ogni pensiero fuori schema», dice Spribille. «Anzi, che crea gli schemi».

A Jonathan Foley questo sembra plausibile. È il direttore ese-

cutivo della Californiana Academy of Sciences a San Francisco, ha un PhD e ha avuto una carriera scientifica piena di riconoscimenti (e fa parte del comitato scientifico di «Scientific American»). Quanto alle idee, «più che una torre, oggi c'è una fortezza d'avorio», dice. Gli incentivi della cultura accademica – pubblicare su riviste consolidate, procurarsi finanziamenti e arrivare in cattedra – non sono certo «fatti per scatenare una selvaggia creatività». Dopo lo Sputnik, la scienza si è iper-professionalizzata, dice Foley, «una specie di Scienza SpA. Penso che abbiamo perso una parte della nostra anima». L'estrema specializzazione richiesta oggi dal mondo della biologia, piena di biotecnologie e centrata sulle molecole, azzera il tempo da dedicare alla tassonomia o all'epistemologia. «Ci sono persone che prendono lauree e dottorati in scienze biologiche nelle migliori università degli Stati Uniti e se escono di casa non sanno come si chiama quello che vedono, che non hanno mai studiato niente di più grande di una cellula», dice Foley. Questo vuol dire che molti biologi se ne stanno chiusi in laboratorio e si affidano a persone come Goward affinché trovino le specie da studiare, o affinché suggeriscano idee da approfondire.

Spribille è preoccupato anche dal fatto che i suoi studenti sono paralizzati dal timore di sbagliare, una condizione psicologica che certo non può portare a scoperte dirompenti. E indica Goward come esempio dell'opposto. Nel caso di *Bryoria*, Goward ha ipotizzato che fosse presente un terzo partner, anche se aveva torto nel pensare che fosse un batterio. Ma non è l'aver ragione «il criterio da cui si vede una mente brillante», dice Spribille. A caratterizzarle, invece, è l'inesauribile curiosità e la voglia di fare domande; tratti che Spribille cerca di incoraggiare nei suoi studenti. «Io dico loro, "tirate fuori tutte le idee. Nessuno qui vi farà vergognare per aver buttato lì un'idea che poi magari non useremo". Per me questa è una regola di vita».

Riprendere i sensi

Alcuni dei problemi più seri che sta cercando di risolvere oggi la scienza – cambiamento climatico, perdita della biodiversità, sicurezza alimentare e idrica – richiede grandi visioni integrate da più prospettive. Uscire dal laboratorio e tornare alla natura per osservare come effettivamente funzionano i suoi sistemi è un primo passo essenziale. Un biologo della University of the South, in Tennessee, ha accettato la sfida e lo ha fatto. Per un anno David George Haskell è andato a sedersi in un metro quadrato di foresta primaria nel Tennessee, senza far altro che osservare, e poi ci ha scritto un libro che è stato proposto per il premio Pulitzer, tradotto anche in italiano con il titolo *La foresta nascosta*. È stata una profonda lezione di umiltà. «Risveglia il senso della tua ignoranza. Avevo alle spalle decenni di studio e di insegnamento della biologia, avevo pubblicato lavori scientifici e tutto, e lì, seduto nella foresta, mi sono reso conto di quanto fosse poco, pochissimo, quel che sapevo del posto». Dall'umiltà è germogliata la curiosità, decine di domande sui rapporti tra piante e animali, la loro storia ecologica, i loro rapporti con il clima e la geologia. Oggi Haskell è fra i consulenti dell'Open Space Institute di New York, e contribuisce a valutare le aree da preservare scegliendo quelle che potrebbero essere più resilienti rispetto al cambiamento climatico.

Se al sapere si arriva soprattutto leggendo la letteratura scientifica «restiamo sempre lontani, di parecchi passi, dagli effettivi fenomeni che scopriamo via via», spiega Haskell. E se gli strumenti sono importanti perché aiutano gli scienziati a capire il mondo, «il nostro corpo ha già tutte queste magnifiche *app* preinstallate, e sono direttamente connesse alla nostra coscienza», dice. «Bisogna riprendere i sensi, letteralmente, i cinque sensi: potremo imparare molte cose sul mondo».

Le unità della vita potrebbero non essere gli individui ma le reti; che sia quella degli organismi di cui è fatto un lichene o quella dei microrganismi del microbioma umano

Erica Gies

I licheni crescono in tutti i continenti, e sono sopravvissuti per un anno e mezzo all'esterno della Stazione spaziale internazionale, esposti senza protezioni alle radiazioni cosmiche.

Goward ha trasformato questa etica in uno stile di vita. Nella sua casa, chiamata Edgewood Blue, su un terreno di 4 ettari confinante con il parco di Wells Gray, c'è l'acqua corrente per la doccia e i lavandini, ma non il WC. Una sera, mentre mi coprivo per andare alla baracca con il gabinetto, il compagno di Goward, Curtis Björk, un botanico, mi ha invitato ad alzare gli occhi verso la Via Lattea, che qui, lontano da ogni inquinamento luminoso, è vividissima. Quando gli chiedo perché non hanno il gabinetto in casa, Goward dice che a lui e Björk piace dover uscire di casa tutti i giorni, anche in pieno inverno. Andando alla baracca ha visto

Nella sua casa fra i boschi, Goward ospita un'incessante processione di biologi, poeti e astrofisici che esplorano idee su forme di vita esotiche e sui rischi dovuti al distacco degli esseri umani dal mondo della natura.

Erica Gies

l'aurora boreale e un alce di passaggio. Quando mi lagno, scherzosamente, dell'umidità, del freddo, delle zanzare che ti mangiano d'estate, e magari l'agguato del puma che da poco ha rubato i maiali di un vicino, Goward tiene il punto: «È la realtà. La vita non è sempre comoda».

Il vero pericolo, per Goward, è nel separarci dal mondo naturale, vivere chiusi in città, ignari di quanto grave sia il degrado che stiamo infliggendo alla natura. Haskell concorda, e fa notare che questa separazione ha implicazioni etiche. «Alberi, funghi, salamandre... sono tutti nostri parenti, sangue del nostro sangue, se crediamo a Darwin». Se non conosciamo il mondo, il nostro senso di che cosa è giusto e che cosa sbagliato nel nostro comportamento e nel modo in cui incide sugli ecosistemi resta imperfetto, dice.

Ma per lo scienziato che potrebbe non avere un anno di tempo, o 30, per contemplare la natura, mantenere collaborazioni o amicizie fuori dall'accademia o con persone di discipline diverse può aprire spazio per nuove scoperte, come è avvenuto a Spribille.

Rapporti di rete

A Edgewood l'arredamento è dominato dai libri, che rivestono, allineati su scaffali fatti a mano, le pareti della maggior parte delle stanze. La cucina è il feudo di Björk; quando la cena è pronta manda Purple a chiamare gli umani. Purple mangia a tavola con noi; le sue maniere sono impeccabili.

Del menù fanno parte discorsi di vasta portata. «Cerchiamo di fare in modo che questo sia un posto in cui chiunque possa esprimere le sue idee», dichiara Goward. Pregi e limiti della scienza moderna sono un tema ricorrente, in primo luogo per il profondo amore che le porta. Anche la vita e le relazioni umane salgono alla ribalta, a volte con bizzarre analogie con i licheni. Goward tiene molto alle sue idee – ai limiti dell'arroganza, qualche volta – ma è sempre pronto a considerare nuove informazioni. Le sue conversazioni sono condite con riferimenti a libri e autori diversi. Una volta gli ho parlato del libro di Haskell e di un saggio di Ursula K. Le Guin; la volta dopo li aveva letti.

Visto che il mondo scientifico è spesso riluttante a pubblicarle, Goward diffonde le sue idee una persona alla volta. Lui e Björk ospitano un corteo ininterrotto di biologi, aspiranti naturalisti, poeti, geografi, ecologi, astrofisici e giornalisti, per un giorno o una settimana o più, in cambio di un po' di lavoro a Edgewood. Spribille e Crawford ci vengono spesso. «Ho fatto un sacco di lavoro da paesaggista, qui», dice con orgoglio Crawford. «E grandi conversazioni, piene di stimoli intellettuali».

A Goward piacerebbe creare un centro di studi più istituzionale, per far crescere l'«alfabetizzazione biologica» delle nuove generazioni, e ha offerto metà del suo terreno alla Tompson River University della vicina cittadina di Kamloops, dove è cresciuto, affinché vi costruisca un centro di ricerca. E poi invita periodicamente un po' di persone, attive in varie discipline, per qualche giornata di discussioni.

Durante la mia visita, Goward approfondisce uno dei temi di riflessione che gli stanno a cuore: che cosa sono, in realtà, i licheni? Organismi? Serre fungine? Fattorie d'alghe? Ecosistemi? Reti?

Forse, la nostra idea di lichene dipende dal punto di vista. Dato che il nome scientifico dei licheni è quello dei loro funghi, c'è il pregiudizio implicito che a comandare sia il fungo, un'ottica limitativa che Goward ammette essere stata, in passato, la sua. Oggi vede nei licheni una specie di *koan*, un paradosso zen. «Per sua stessa natura, il lichene esiste su un portale, una soglia», dice. «Se lo guardi da una parte, è un organismo. Se lo guardi dall'altra, un ecosistema». I saggi di Goward propongono di guardare ai licheni non per le loro parti fungine o algali, e neppure come ecosistemi oppure organismi. Sono piuttosto tutte queste cose, sistemi biologici incapsulati da una membrana: i licheni come proprietà emergente. Dopotutto, i licheni inviati nello spazio sono sopravvissuti; le loro alghe, da sole, no.

Pensare i licheni come sistemi si inserisce bene nel più vasto passaggio, nelle scienze biologiche, da un'ottica che vede l'unità fondamentale della vita nell'individuo a quella della comunità e collaborazione. «Che si parli del microbioma nel corpo umano o del rapporto di collaborazione degli alberi con i funghi del sottosuolo, o dei licheni, [...] stiamo vedendo che nei sistemi biologici i rapporti di rete sono più fondamentali e durano più a lungo che non gli individui», dice Haskell.

Per Goward, i licheni sono gli organismi per cui è più evidente che l'essenziale è la relazione. Per questo danno indicazioni valide per tutto il mondo vivente. «I licheni sono la mia finestra», dice, «ma la cosa interessante è l'atto di guardare il mondo». I sistemi rimangono insieme, nel lungo periodo, solo se i loro pezzi si considerano parte integrante del tutto e se il tutto protegge le parti, come fanno i licheni. «È questo che non va, oggi, in noi», dice. «Come individui, non ci preoccupiamo del tutto». ■

PER APPROFONDIRE

Cyanolichen Distribution in Young Unmanaged Forests: A Dripzone Effect? Goward T. e Arsenault A., in «Bryologist», Vol. 103, n. 1, pp. 28–37, primavera 2000.

La foresta nascosta: un anno trascorso a osservare la natura. Haskell D.G., Einaudi, Torino, 2014.

Basidiomycete Yeasts in the Cortex of Ascomycete Macrolichens. Spribille T. e altri, in «Science», Vol. 353, pp. 488–492, 29 luglio 2016.

La serie dei saggi di Trevor Goward è sul suo sito, Ways of Enlichenment: **www.waysofenlichenment.net/ways/readings/index.**

Le più antiche tracce di vita. Simpson S., in «Le Scienze» n. 417, maggio 2003.

Alla ricerca di Troia

Fin dal tempo di Schliemann, una collina sullo stretto dei Dardanelli è considerata la scena della guerra cantata da Omero. Ora alcuni archeologi hanno stabilito che Troia fu un centro della tarda Età del Bronzo e che sopravvisse a molte conquiste

di Ernst Pernicka, Peter Jablonka e Magda Pieniążek

L'identificazione della cittadella omerica con il sito di Hisarlik, in Turchia, sembra ormai confermata, ma la sua esatta datazione è ancora incerta.

Greci e romani non presero mai in seria considerazione l'ipotesi che *Iliade* e *Odissea*, i poemi epici di Omero, fossero una fantasia; erano una descrizione artistica ma corretta di una guerra epocale. Anche sulla localizzazione della guerra narrata da Omero c'era stato un vasto consenso: Troia era una collina coperta di rovine nei pressi dei Dardanelli, l'angusto stretto di mare che divide l'Egeo dal Mar di Marmara. Fino all'epoca moderna, i due poemi epici furono considerati opere di storia. Soltanto il filologo classico Friedrich August Wolf ne indagò l'origine, nel 1795, finché si rivelarono solo una rielaborazione letteraria di un mito.

Ernst Pernicka insegna archeometria all'Università di Heidelberg, ed è direttore scientifico e ammministratore del Curt-Engelhorn-Zentrum Archäometrie a Mannheim. È stato direttore degli scavi a Troia e ha diretto l'elaborazione dei risultati degli scavi dal 2006 al 2013. **Peter Jablonka** e **Magda Pieniążek**, laureati in archeologia all'Institut für Ur- und Frühgeschichte und Archäologie des Mittelalters all'Università di Tubinga, collaborano da molti anni al Progetto Troia.

Due fossati contrassegnavano presumibilmente il confine esterno della città bassa nelle fasi di Troia VI e Troia VIIa (*a fronte*). Un sigillo con geroglifici luvi (*qui sotto una ricostruzione*) è l'unico esempio finora scoperto con una «scrittura luvia» del tempo.

Perciò fu un'impresa un po' rischiosa quando Heinrich Schliemann (1822-1890) fissò l'inizio dei lavori sulla «collina della rocca» (detta in turco Hisarlik o Hissarlik). Poi, con i mezzi dell'ancora giovane archeologia, Schliemann volle dimostrare, nonostante tutte le previsioni sfavorevoli, che i poemi di Omero avevano una base storica, e che le rovine sui Dardanelli erano i resti di Troia.

Dotto commerciante, Schliemann aveva accumulato una fortuna fornendo munizioni all'esercito zarista; ora cominciò a concedersi alla sua passione per l'antichità. A distanza di più di un secolo e mezzo, dopo la conclusione e la valutazione di grandi progetti internazionali di scavi, ci manca ancora la prova finale. Certo è che quella rocca, con tutto l'insediamento che la circonda, è un centro politico ed economico della tarda Età del bronzo. È certo anche che la rocca e l'insediamento sono stati entrambi distrutti, forse addirittura varie volte, in seguito a eventi violenti. In queste vicende potrebbero avere avuto una parte invasori provenienti dalla terraferma greca – gli achei di Omero – ma probabilmente anche i cosiddetti popoli del mare, che intorno al 1200 a.C. contribuirono al tramonto dei grandi regni dell'Età del bronzo. E non si possono escludere conflitti e rivolte locali.

Se la guerra di Troia fu una realtà, doveva avere avuto luogo in un lontano passato. Schliemann congetturò quindi che le tracce di quell'evento dovevano essersi conservate molto in profondità sotto gli strati più recenti; lavorando in quest'ottica gettò le basi della stratigrafia archeologica. A partire dal 1870, centinaia di operai scavarono sulla collina una fossa di una ventina di metri di larghezza. Direttamente sulla roccia del fondo, nello strato dell'insediamento più antico, Troia I, portarono in luce solo indizi poco appariscenti di un modesto villaggio, che secondo le conoscenze attuali sarebbe stato fondato intorno al 3000 a.C. Più in alto gli uomini si imbatterono nei muri di una fortezza distrutta probabilmente da un grande incendio. Il luogo è noto oggi col nome turco di Hisarlik o Hissarlik (letteralmente «luogo di fortezze») e viene comunemente identificato con l'antico sito di Troia). In questo strato fu ritrovata una spettacolare quantità di oggetti d'oro. Schliemann credette di avere già raggiunto il suo obiettivo, e parlò del «tesoro di Priamo». Oggi sappiamo che quell'oro aveva un migliaio di anni di troppo per essere appartenuto alla Troia di Omero.

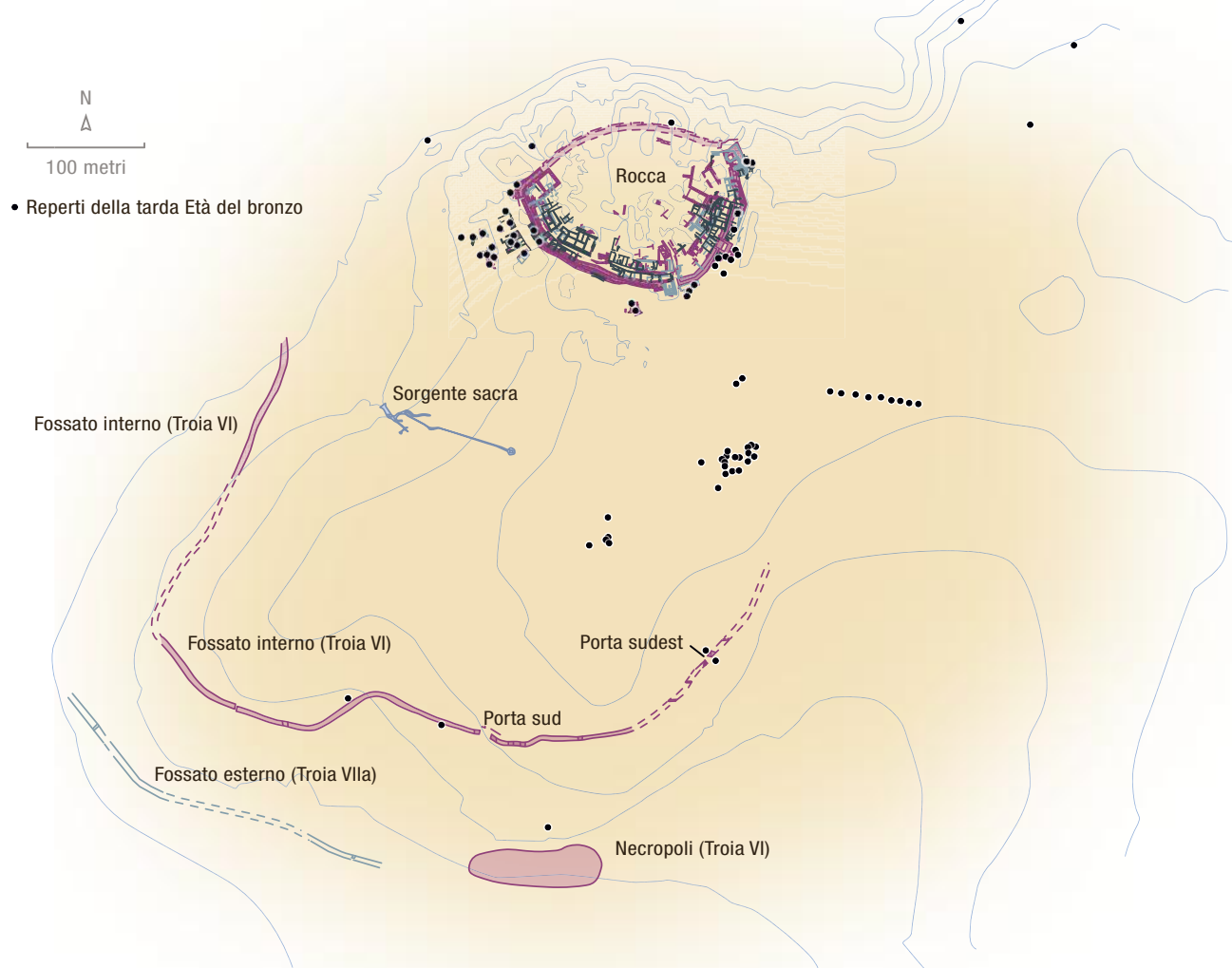
Lo stesso Schliemann aveva però probabilmente già riconosciuto il suo errore. Avendo portato fuori del paese senza alcuna autorizzazione il tesoro che aveva trovato, non poté più compiere scavi in Turchia per molto tempo. Ripiegò allora su Micene, la leggendaria residenza del re Agamennone, comandante della coalizione contro Troia. La cultura micenea era considerata a quel

IN BREVE

Nell'antichità la città di Ilio era considerata il luogo in cui aveva dominato in precedenza la possente Troia. Gli archeologi confermano che nell'Età del bronzo vi prosperava un importante centro politico ed economico.

In base a scoperte di oggetti artistici e di documenti scritti ittiti si possono individuare città identificabili con la città di Troia, che potrebbe essere stata distrutta in una guerra. Fra le possibili candidate ci sono Troia VI (intorno al 1300 a.C.) e Troia VIIa (intorno al 1200 a.C.).

I mutamenti sociali nelle varie fasi attestano una grandissima volontà di sopravvivenza della popolazione anatolica autoctona, ma anche la sua apertura a influenze straniere.

Spektrum Der Wissenschaft/Emde-Grafik. Da: Universität Tübingen, Troia Projekt

tempo la migliore candidata a rappresentare gli achei di Omero. Quel che Schliemann portò allora in luce era chiaramente diverso dalle scoperte fatte a Troia II; le due culture non potevano appartenere allo stesso livello temporale. Dopo il suo ritorno a Hisarlik, Schliemann scoprì la ceramica micenea nello strato dell'insediamento di Troia VI (1750-1300 a.C.). Il suo collaboratore e successore Wilhelm Dörpfeld (1853-1940) ritenne che quel luogo fosse la scena della guerra cantata da Omero. L'archeologo statunitense Carl W. Blegen, che negli anni trenta condusse scavi a Hisarlik, spostò la roccaforte del re Priamo, sulla base dei risultati dei propri scavi, di uno strato verso l'alto, ossia verso la Troia VIIa (Ilio, 1300–1200/1180 a.C.).

La rocca sulla collina

Nel 1987 un'équipe internazionale si mise al lavoro sotto la direzione dell'archeologo di Tubinga Manfred Korfmann e poi di nuovo dopo il 2005 sotto la guida di Ernst Pernicka. Al centro dell'interesse c'era ora la ricerca sulla città bassa della tarda Età del bronzo, il che mutò completamente l'immagine complessiva del luogo. Archeologi diretti da Charles Brian Rose, dell'Università della Pennsylvania a Philadelphia, hanno annunciato per la prima volta anche l'identificazione della Troia esistente nell'antichità greca e romana. Il progetto è terminato nel 2015, e ora si sta lavorando a una pubblicazione generale dei risultati, mentre una squadra turca sta proseguendo gli scavi a una scala più limitata.

Le ricerche naturalistiche su resti di piante e animali, sulle ceramiche, sui metalli e su altri reperti ci hanno fornito nuove conoscenze sull'alimentazione e l'economia dell'epoca che stiamo considerando. Prospezioni geofisiche e sondaggi archeologici hanno modificato i modi in cui ci rappresentavamo la struttura e l'estensione dei luoghi. Centinaia di carotaggi ci hanno aiutato a ricostruire i cambiamenti del paesaggio, in particolare la linea delle coste e il corso dei fiumi. Scavi compiuti nell'ambiente ci hanno permesso di fare luce sulla storia degli insediamenti.

In realtà la tradizione greca non lascia indifferente nessuno di coloro che partecipano agli scavi sulla collina. Quando infatti qualcuno legge Omero riconosce subito lo scenario da lui descritto, con i fiumi, i monti e le isole al largo delle coste. In verità, Omero a volte si discostava un po' nei dettagli, ma già Schliemann, quattro anni dopo l'inizio degli scavi, notò: «Omero non è uno storico, è un poeta, e gli si deve concedere l'esagerazione». In quest'ottica critica però ogni archeologo era finora giunto alla conclusione che le descrizioni di Omero ben si adattino a Hisarlik.

Non c'è dunque alcuna ragione per cercare Troia in altri luoghi, come di tanto in tanto propone qualcuno. Sforzi del genere erano già stati compiuti nell'antichità, ma furono attribuiti piuttosto a una gelosia patriottica locale. Il geografo Strabone (circa 63 a.C.-23 d.C.) scrisse per esempio che Ilio – il secondo nome usato per la mitica città di Priamo – non sarebbe stata la città greca di Ilio nei Dardanelli, ma sarebbe stata costruita molto più all'interno, presso un villaggio della stessa popolazione. Strabone citò come prova la dotta Estiea (autrice di un commento a Omero), secondo la quale la pianura davanti a Ilio si sarebbe formata solo dopo la guerra citata, attraverso la deposizione di sedimenti fluviali in una baia.

Quindi, dove avrebbero combattuto gli eserciti? Le ricerche più recenti confermano effettivamente la colmata della baia, ma lascerebbero ancora abbastanza spazio per l'incerta durata di tempo intorno al colle della fortificazione. Curiosamente, forse Estiea era originaria di una città in competizione con Ilio. Del resto anche Schliemann in principio aveva cercato Troia qualche chilome-

tro più a sud, fino a quando Frank Calvert, un britannico che viveva nei Dardanelli, lo indirizzò a Hisarlik. Come Schliemann, che sarebbe stato in seguito celebrato come scopritore di Troia, anche Calvert era appassionato dell'antichità, ma gli mancavano i mezzi per intraprendere grandi scavi.

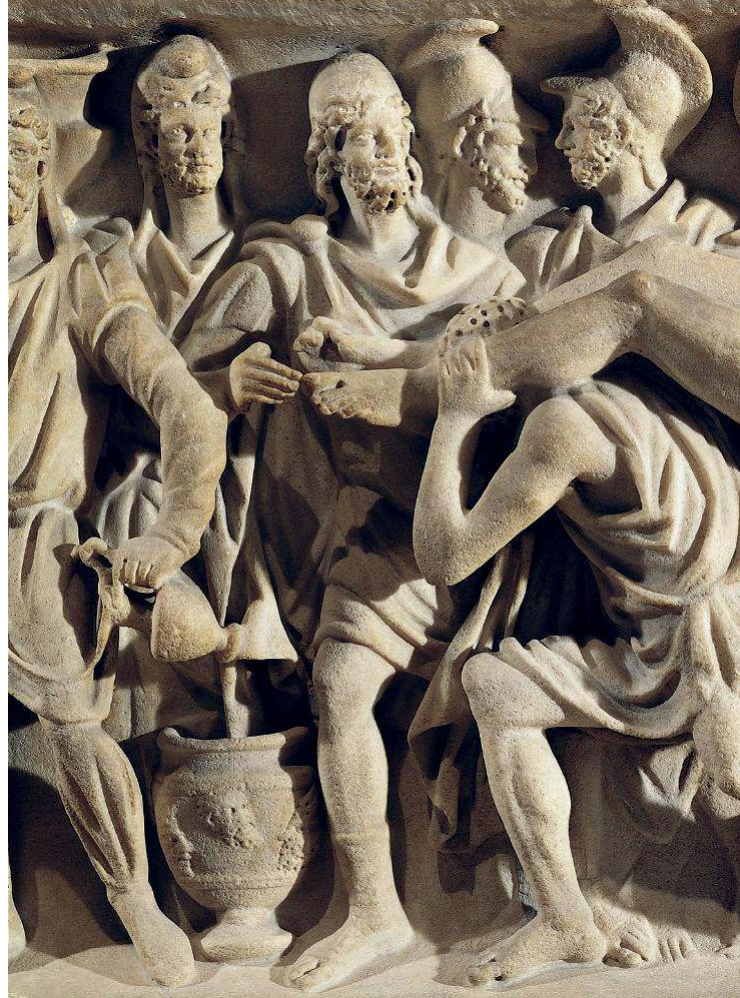
Naturalmente sarebbe grandioso riportare in luce a Troia una tavoletta d'argilla dell'età del bronzo con il nome della località, cosa che è però altrettanto rara nel mondo culturale miceneo e ittita. In effetti, nell'intera Asia Minore occidentale finora non sono state fatte scoperte paragonabili. Forse in questi paesi non c'era una gestione della cosa pubblica altrettanto sviluppata? Non è facile rispondere. Forse nella scrittura di documenti si usavano solo materiali più deperibili, come tavolette di legno ricoperte di cera. Nel famoso naufragio di Uluburun, che avvenne a quei tempi, fu recuperata una tavoletta simile che il sedimento del fondo marino aveva preservato per millenni da danni irreparabili.

L'unico oggetto con scritte scoperto a Troia è un sigillo metallico che registra i nomi di uno scrivente e della moglie in scrittura luvia geroglifica (*si veda la foto a p. 80*). L'oggetto è stato trovato nello strato di Troia VIIb (1200/1180-1050 a.C.), ma è così deteriorato dall'uso che potrebbe essere anche più antico. Questo sigillo fu usato soprattutto nell'impero ittita del XIII secolo a.C., nelle aree in cui era molto diffusa la lingua luvia. Gli archeologi hanno scoperto singoli oggetti simili persino in Grecia. Considerato isolatamente, questo reperto offre perciò comunque una debole indicazione di contatti di Troia con gli ittiti. Non è possibile stabilire sulla base di una singola scoperta se la persona il cui nome è inciso sul sigillo abitasse nei pressi o se addirittura se parlasse il luvio.

Per colmare i vuoti della tradizione, i ricercatori consultano gli archivi delle tavolette di argilla della capitale ittita. Prima ancora che fossero trascorsi cent'anni ci si rese conto che i nomi di luoghi e persone contenuti in alcuni documenti erano simili ad altri che si trovavano in Omero: il nome Taruissa richiama Troia, il nome geografico Wilus(ij)a ricorda (W)ilios (le lettere fra parentesi corrispondono a varianti di lettura), il regno Ahhijawa richiama alla mente gli achei di Omero. Gli ittitologi non sanno dove localizzare molte denominazioni geografiche, ma il nome Wilusa può essere comunque riferito sulla base di varie indicazioni al nord-ovest dell'Asia Minore. Che Wilusa possa essere identificata con la Troia dei poemi omerici rimane comunque molto plausibile.

Wilusa, il nome ittita di Troia?

Secondo i documenti, la città indipendente di Wilusa apparteneva alla zona di influenza ittita. Prima del 1400 a.C. si unì a un'insurrezione che fallì. Intorno al 1300 la costa occidentale dell'Asia Minore cadde in preda a una serie di disordini fomentati da un certo Piyamaradu. Questo personaggio apparteneva probabilmente alla dinastia di un impero noto col nome di Arzawa, ed era un alleato del re di Ahhijawa. Alaksandu, sovrano di Wilusa, concluse perciò, forse intorno al 1280 a.C., un trattato col re degli ittiti Muwatalli II, anche se gli costò la propria autonomia. Wilusa divenne uno stato vassallo, perciò non poté più praticare una politica estera autonoma.

È chiaro che l'aggressore non si lasciò impressionare molto da quell'alleanza, come lascia intendere indirettamente una lettera. Intorno al 1250 il degli ittiti Hattušili III scrisse al re di Ahhijawa che gli abitanti di Wilusa erano concordi fra loro, come poteva dimostrare questa vicenda di Piyamaradu. Circa cinquant'anni dopo la stessa località compare ancora una volta nella corrispondenza dell'impero ittita; a quanto pare il re di Wilusa, Walmu, era stato

spodestato, e il sovrano ittita in carica stava tentando di rimetterlo al potere. Poco tempo dopo la stessa capitale dell'impero ittita Hattuša tramontò, e così ebbe fine la tradizione scritta.

Nemmeno uno sguardo ad altre culture dell'età del bronzo in possesso della scrittura ci conduce oltre. È vero che in documenti della scrittura lineare B della Grecia micenea, come anche in iscrizioni egizie, si trovano nomi che assomigliano a molti nomi citati nei poemi omerici, ma questo dimostra soltanto che quei nomi esistettero nell'età del bronzo. Così in testi della scrittura lineare B c'è per esempio un Achille; ma era un pastore, non il leggendario eroe omerico. Alcune particolarità dei vari sistemi di scrittura rendono inoltre più difficile accertare la corrispondenza dei nomi. La scrittura egizia era formata solo da consonanti, la lineare B assomigliava alla scrittura cuneiforme ittita e i geroglifici luvi erano essenzialmente una scrittura sillabica. Non possiamo però sapere con sicurezza se con quelle lingue si potessero esprimere altrettanto bene i concetti.

Purtroppo anche i risultati degli scavi forniscono solo indicazioni. Perso il contatto con i poemi epici, gli scavi raccontano una storia emozionante di una regione che, compressa fra vari blocchi di potenze, tentava di trovare la propria strada. Attraverso le nuove ricerche sappiamo che sotto la Ilio greco-romana si trova fin dall'inizio dell'Età del bronzo il luogo principale della regione. Si può praticamente escludere che nei territori circostanti sia esistito un insediamento contemporaneo di importanza paragonabile.

A partire dal 1600 a.C. circa – più di mille anni dopo la fondazione del primo insediamento – le mura della roccaforte di Troia VI sovrastavano le catene di monti in prossimità dei Dardanelli. Ancora oggi conservano un'altezza di 6-8 metri, perché gli scalpellini fecero a quell'epoca un lavoro eccellente. Gradualmen-

Oggetti artistici come la statuetta di bronzo qui a fianco sono stati ritrovati in un locale della casa terrazzata, suggerendo che la stanza avesse una funzione di culto. In alto, il corpo di Ettore riportato a Troia, da un sarcofago romano del III secolo d.C.

Universität Tübingen, Troia Projekt

te rafforzarono poi le strutture con la costruzione di porte e torri, nell'intento di respingere qualsiasi aggressore.

Quanto fosse potente Troia VI si può desumere anche dall'architettura all'interno della cittadella: in precedenza vi si trovavano case a schiera, che furono sostituite da edifici indipendenti, alcuni lunghi più di 20 metri e sviluppati in altezza per vari piani, poggiati su robusti basamenti realizzati con blocchi di pietra lavorati con cura: solo gli appartenenti a un'élite facoltosa potevano permettersi costruzioni del genere.

Inoltre il terreno all'interno della rocca era stato terrazzato: un'impresa che aveva richiesto un grande dispendio di mezzi, una grande forza lavoro e un ricco committente, e di conseguenza anche una corrispondente gerarchia. Purtroppo il livello superiore della rocca è stato distrutto, in conseguenza degli scavi di Schliemann o della scelta di spianarlo già nell'antichità, quando si decise di erigere sull'acropoli un santuario ad Atena. Ma poiché strade e rampe che portano verso l'alto si sono conservate, al centro dell'acropoli potrebbero essere rimasti a lungo edifici importanti.

All'esterno della rocca continuò a svilupparsi l'insediamento, dapprima con un'urbanizzazione più densa, ma poi con distanze maggiori, anche di 200 metri, e con superfici libere più spaziose, fra le singole case e fra case e officine; verosimilmente queste superfici libere venivano sfruttate per l'agricoltura. Già a partire dal 1988, per mezzo della prospezione geofisica, gli archeologi identificarono come confine un fossato scavato nella roccia. Largo quattro metri, profondo due e lungo più di un chilometro, le ricerche non ne raggiunsero mai la fine. Già nell'antichità in alcune aree il fossato non era più identificabile a causa delle disposizioni edilizie adottate; tuttavia l'insieme dava l'idea di un fossato che, a partire dal 1500 a.C. circa, recingeva una grande «città bassa» dell'estensione di 20-30 ettari. Nella scia della «discussione su Troia», qualche anno fa i lavori di costruzione sono stati di quando in quando interpretati come fossati per lo scorrimento delle acque, ma le loro stesse dimensioni contraddicono questa ipotesi: chi asporta 10.000 metri cubi di roccia con martello e scalpello non vuole proteggersi da forti piogge, ma dagli aggressori.

Pozzi e sorgenti

È presumibile che dietro il fossato fosse stato costruito un muro, formato dai materiali di scavo, che era probabilmente protetto nella parte anteriore da una palizzata (*a sinistra in basso nella pianta a p. 81*). In alcune parti sono venute alla luce buche scavate più in profondità, che servivano probabilmente a fissarvi saldamente una porta di legno. Le ricerche hanno evidenziato in tutto tre ingressi. In questi punti il fossato era interrotto, il che confuta definitivamente l'interpretazione del fossato di deflusso dell'acqua.

Si affrontarono grandi spese anche per assicurare l'approvvigionamento d'acqua sull'acropoli, come anche nella città bassa. Vari pozzi profondi sulla rocca dischiusero un orizzonte di acque sotterranee. Uno di questi pozzi profondi era ben protetto all'interno del bastione di nordovest del muro della cittadella. Nella città bassa c'era un sistema di sorgenti sotterranee (*si veda la pianta a p. 69*), che in origine era un punto da cui l'acqua sgorgava naturalmente dalla roccia e che veniva di continuo ingrandito per poterne accrescere la portata.

Diversamente che, per esempio, a Micene, nella rocca non si sono trovate tombe di personaggi importanti, ed è un vero peccato, perché lì si deponevano armi, ornamenti personali e oggetti della vita quotidiana spesso di grande pregio. Davanti alla porta sud del fossato difensivo, Dörpfeld e Blegen avevano già trovato una necropoli del tardo periodo di Troia VI. In prevalenza c'erano tombe a cremazione racchiuse in urne tipiche dell'epoca, ma c'erano anche sepolture di corpi, cosa che forse riflette la presenza nella popolazione di una diversità di vedute sull'aldilà. Come nel cimitero contemporaneo di Beşik Tepe, che si trova a soli pochi chilometri di distanza, prevalevano doni locali.

Vi si trovano inoltre ceramiche d'importazione provenienti dalla Grecia micenea (*si veda la foto a p. 84*). Due urne contenevano addirittura vetro, maioliche, oggetti d'avorio, oro e perle di corniola: chiaramente, i morti dovevano preferire uno stile di vita elevato. Tracce di questi beni d'importazione sono state trovate anche nella rocca della posteriore Troia VI, oltre a gusci di uova di struzzo e impugnature di spada in pietra. Tutto questo dimostra che l'élite troiana aveva buoni contatti in paesi relati-

vamente lontani. Gli archeozoologi hanno inoltre dimostrato, con l'aiuto di ossa di animali, che dall'inizio della fase Troia VI si cominciarono ad addestrare i cavalli. Questi non fornivano solo carne, ma permettevano anche il trasporto di carichi pesanti, ed erano preziosi anche come cavalcature e per i carri da traino soprattutto per il trasporto di armi e oggetti di prestigio.

L'architettura, i contatti con altri popoli distanti e le merci di lusso importate sottolineano l'importanza della nuova città, che probabilmente fu un centro regionale importante già dall' antica Età del bronzo. Anche le sue dimensioni lo confermano: Troia VI ebbe una superficie almeno doppia di quella di altre città della zona. Oltre alla concentrazione di funzioni come organizzazione politica, controlli sulle eccedenze agricole, specializzazioni artigianali nonché scambio di beni su distanze maggiori, questo impedì che nell'area potesse sorgere un secondo centro di importanza simile. Di fatto, in questo periodo pare che altri insediamenti abbiano addirittura ridotto le loro dimensioni.

Durante la tarda Età del bronzo Troia si sviluppò nella forma di un forte principato. Tipica dell'Età del bronzo, era una società tribale con un'aristocrazia guerriera. La popolazione comune viveva nella città bassa o nella zona circostante, e la rocca era riservata in gran parte a uno strato superiore aristocratico. Le sue case isolate col pianoterra senza finestre fanno pensare alle case in forma di torri delle famiglie dominanti delle città medievali, in cui ogni famiglia doveva difendere la propria casa. Ciò indica che la questione del potere non era ancora stata decisa del senso di una dinastia dominante stabile? In assenza di informazioni sulla struttura della terrazza superiore non è possibile rispondere con chiarezza a questa domanda. Non sarebbe una soluzione accettabile neppure usare i poemi omerici come fonte di informazioni sulla società troiana, perché Omero combinò una descrizione idealizzata della realtà del suo presente con le tradizioni di una mitica epoca eroica.

I contatti col regno degli Ittiti, il modo in cui essi interpretano la prima menzione di Wilusa proprio in relazione a questa fase, sono quasi impercettibili nella Troia V, e soprattutto non si trovano tracce dell'annientamento di un'insurrezione intorno al 1400 a.C. Ma non è impensabile che i grandi sovrani di Hattuša, sempre attenti a ogni possibilità di espandersi, abbiano gettato uno sguardo su quel prospero insediamento.

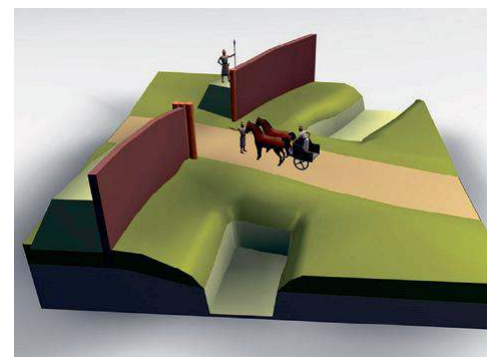
Intorno al 1300 a.C. le opere difensive dei troiani furono distrutte, come dimostrano le tracce dell'incendio visibili ancora oggi nella rocca e nella città bassa. Dörpfeld interpretò queste tracce come conseguenze di una guerra, e identificò Troia VI con la Troia di Omero. Blegen, invece, vide in fenditure, depressioni e muri crollati soltanto i segni di un terremoto. Non si può tuttavia parlare di una continuità di interventi, come sarebbe lecito attenderci dopo una catastrofe del genere. Gli abitanti di Troia, a quanto sappiamo oggi, non si limitarono a rimediare ai danni. Non ripararono solo i guasti subiti dalla cinta muraria della rocca ma, per esempio, costruirono porte e torri considerevolmente più grandi. I troiani, quindi, si limitarono a praticare le riparazioni necessarie per ovviare a insufficienze passate o volevano essere pronti a fronteggiare gravi minacce incombenti?

Questo vaso miceneo proveniente dalla casa terrazzata attesta l'esistenza di contatti con la Grecia anche dopo il 1300 a.C.

Gebhard Bieg, Universität Tübingen, Troia Projekt

In modo più drastico si reagì all'interno della cittadella: in questa fase si mise fine alle case a torre occupate e difese da singole famiglie. Si costruirono invece case più piccole, con una o due stanze, molto vicine l'una all'altra. Un intero anello formato da queste case si estese lungo il muro di cinta, usandolo come parete posteriore. In molti edifici grandi giare, chiamate *pithoi*, furono nascoste sotto terra. Sembra chiaro che si attribuisse un maggior peso alla conservazione di provviste. Questa architettura povera ispirò a Dörpfeld la tesi che nella rocca di Troia VII non vivessero più il «signore e i suoi affini» bensì «semplici campagnoli». A causa delle piccole dimensioni delle case e delle molte giare piene di povere provviste che vi venivano conservate, Blegen temette addirittura che l'intera popolazione di Troia si fosse ritirata dietro la cinta muraria della rocca in attesa di un attacco e di un lungo assedio.

Mutamenti sociali e guerra

L'interesse di Blegen per questa ipotesi nasceva dal desiderio di identificare la guerra di Troia con un evento reale, ma gli scavi più recenti smentiscono la sua tesi: la città bassa della Troia VIIa non si era affatto spopolata con il trasferimento della sua popolazione nella cittadella. Al contrario, anche nella città bassa le case si costruivano sempre più vicine l'una all'altra e a volte addirittura con muri comuni che formavano pareti divisorie fra l'una e l'altra. Verso la fine di Troia VI o all'inizio di Troia VIIa – non possiamo ancora stabilirlo neppure per mezzo di datazioni al radiocarbonio – il fossato difensivo era ormai stato riempito. Un centinaio di metri più avanti gli abitanti stavano già scavandone un altro nella roccia. Purtroppo i progressi di questa nuova opera si possono ricostruire solo parzialmente perché nella zona orientale della città bassa furono cancellati dalla creazione di una cava in epoca greco-romana. I reperti suggeriscono però che a quel punto l'insediamento fosse cresciuto oltre la sua estensione passata fino a occupare una trentina di ettari o addirittura anche di più.

A Troia vari strati di insediamento erano sovrapposti l'uno all'altro. A fianco, l'archeologo Catalin Pavel è in piedi su muri del periodo ellenistico e romano. Sotto di lui si intravede un pezzo del fossato scavato nella roccia. In alto a destra, la ricostruzione di un passaggio con una palizzata.

Gebhard Bieg, Universität Tübingen, Troia Projekt
Peter Jablonka, Universität Tübingen, Troia Projekt

Secondo le analisi archeobotaniche di campioni di suolo, in seguito furono usate per l'agricoltura anche aree più alte e meno umide, non appartenenti, come prima, esclusivamente alla valle dello Scamandro. L'agricoltura ebbe un periodo di prosperità. La nostra ipotesi quindi è che le giare delle case sulla rocca non servissero a conservare le provviste degli abitanti della città in caso di assedio, ma piuttosto al controllo delle eccedenze. Le merci d'importazione dimostrano inoltre che non solo continuavano a esserci rapporti commerciali con la Grecia micenea e col Mediterraneo orientale ma che manufatti di tipo miceneo ora venivano prodotti anche a Troia. Inoltre il territorio di Troia esportava in questo periodo la sua «ceramica grigia dell'Anatolia occidentale» (*si veda la foto a p. 86*), come attestano scavi compiuti a Cipro e nel Levante. Oltre all'industria tessile, nella Troia VIIa c'era anche una lavorazione dei metalli, come dimostrano le forme da fonderia rinvenute.

Spesso però sono evidenti mutamenti sociali. Quando gli edifici all'interno della rocca di Troia VI smisero di essere residenze di famiglie aristocratiche, quel livello gerarchico probabilmente non esisteva più. Le cause del cambiamento rimangono purtroppo oscure, perché la parte centrale dell'abitato non si è conservata. Certamente però la conclusione di Dörpfeld fu eccessiva, perché la popolazione della rocca continuò a mantenere la propria separazione dalla città bassa per mezzo di una cinta muraria rafforzata. Il fatto che nella città bassa non abitassero solo semplici contadini e artigiani, come in precedenza, è suggerito dalla «casa terrazzata» (*si veda la foto a p. 87*). Questa casa era dotata molto meglio delle altre abitazioni della città bassa: aveva un atrio aperto con un pavimento di pietre piane, un soggiorno con focolare e di lato stanze attigue con recipienti contenenti provviste. In una stanza più piccola nella parte posteriore della costruzione erano in mostra fra l'altro un sigillo minoico, ovvero cretese, ornamenti, un vaso in forma di toro e una statuina in bronzo. Almeno questa stanza potrebbe essere stata usata come un luogo di culto.

Purtroppo la maggior parte della città bassa è sepolta sotto la città ellenistico-romana di Ilio. Studiarla in modo più approfondito significherebbe distruggere i suoi strati dì insediamento. Inoltre finora non conosciamo necropoli della Troia VII, che potrebbero permetterci di apprendere qualcosa di più sulla sua società. È però interessante il fatto che prodotti di importazione come la ceramica micenea e perle di maiolica comincino ora a trovarsi negli strati accessibili della città bassa.

Anche un reperto poco vistoso può comunque darci sempre qualche indicazione: davanti alla porta sud erano state collocate grandi stele alte fino a 2 metri. Presso gli Ittiti, blocchi di pietra simili, mantenuti privi di rilievi o di decorazioni, contrassegnavano i luoghi di culto. Questo è uno dei pochi punti di contatto fra l'archeologia e le tradizioni scritte menzionate? Inoltre, nel citato contratto di Alaksandu erano invocati come testimoni gli dèi di Wilusa. Uno di essi si chiamava ... *appaliuna* (i segni iniziali non si sono conservati). Le lettere rimaste del nome fanno pensare ad Apollo, che secondo Omero parteggiava per i troiani. Forse proprio Apollo è il dio invocato nella stele citata sopra. Un'altra divinità, la dea KASKAL.KUR (le lettere maiuscole rappresentavano caratteri speciali), aveva a che fare secondo gli esperti con corsi d'acqua sotterranei, cosa che si concilierebbe con la grotta della sorgente nella città bassa. In realtà, queste sono congetture attraenti, ma in ultima analisi indimostrabili.

Alla fine della Troia VIIa, intorno al 1200, o al più tardi al 1180 a.C., nei testi ittiti si trovano vaghi indizi di problemi a Wilusa, purtroppo senza dettagli. Ci fu una guerra? Vi svolse un ruolo Ahhijawa? Le tavolette di argilla non forniscono alcuna informazione in proposito, ma in tutte le parti della città bassa scavate finora e in molte parti della rocca sono venute in luce tracce di incendi risalenti al periodo intorno al 1200 a.C.

Intorno alla casa terrazzata, come in altri luoghi della città bassa, sono state scoperte punte di frecce, indizi tipici di un'aggressione. Ma perché nella rocca se ne trovano molto poche? Secondo alcuni ricercatori la città bassa era troppo lontana per permettere agli aggressori un lancio efficace di frecce contro la rocca. E dopo che gli aggressori ebbero superato fossato e palizzata furono im-

Alla distruzione seguì una forte ripresa: poco dopo il 1300 a.C. gli abitanti di Troia VIIa esportavano la loro ceramica grigia dell'Anatolia occidentale (*sotto, a sinistra*) a Cipro e nel Levante. Ma non pare che nella città fosse tornata la pace. Intorno al 1200 a.C. una guerra costrinse probabilmente molti abitanti a emigrare. Quasi cinquant'anni dopo, vasellame della «ceramica barbara» (*a destra*) dimostra che nella Troia VIIb vivevano presumibilmente anche immigrati.

pegnati in scontri ravvicinati, nei quali si usarono soprattutto armi da taglio e da punta. Purtroppo la forma della punta delle frecce non permette di assegnarle a una cultura specifica.

Anche pietre più piccole ritrovate nella città bassa sono state indicate come prove di una guerra, dove potrebbero avere svolto la funzione di armi da lancio difensive, per esempio frombole. La grandezza delle pietre sarebbe stata appropriata, ma i proiettili delle armi tipiche dell'età del bronzo avevano una forma ovale appuntita, ed erano di ceramica o di piombo. Che gli abitanti di Troia usassero queste armi già nella fase di Troia VI lo dimostra una scorta di quei proiettili in una casa dietro la porta sud della rocca.

Questo quadro generale è eterogeneo, ma le grandi distruzioni suggeriscono come più probabili eventi bellici. Poco dopo il 1200 a.C., nella fase Troia VIIb1, furono effettuate poche riparazioni o costruite poche nuove case. Questo fa supporre un forte calo della popolazione, che potrebbe essere stato la conseguenza di una guerra, o anche di una carestia o di un'epidemia. Dapprima gli abitanti rimasti conservarono le loro tradizioni, ma nelle poche costruzioni nuove si cominciò a usare una tecnica che, entro una o due generazioni, sarebbe diventata di uso quasi universale: nelle posizioni più basse delle opere murarie si disposero le pietre squadrate l'una sull'altra non orizzontalmente, bensì di taglio, ossia verticalmente. Non sappiamo per quale ragione sia stato introdotto questo cambiamento, ma è molto evidente.

Probabilmente il trauma fu superato solo dopo una cinquantina d'anni. In Troia VIIb2 (intorno al 1150-1050 a.C.) nella cittadella furono costruite dappertutto nuove case; di quando in quando si integravano vecchie rovine nelle nuove costruzioni. La pianta era spesso irregolare, e comprendeva per lo più vari locali, che a volte davano su un cortile. Le costruzioni sulla rocca erano così numerose che spesso rimaneva poco spazio per vicoli o viuzze.

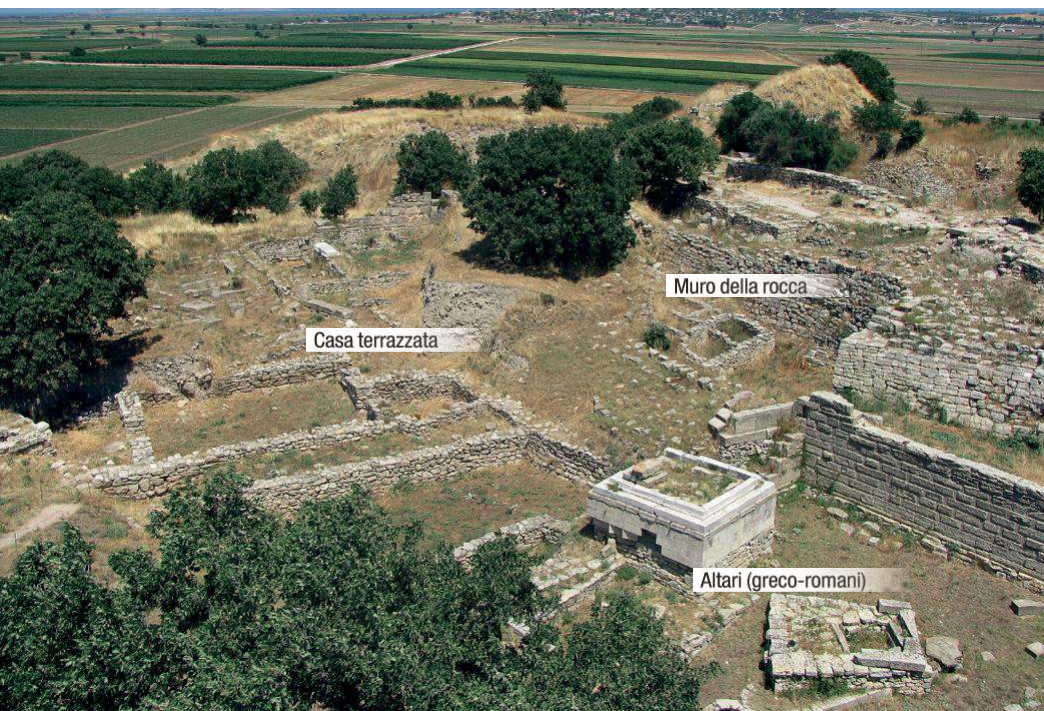
Subito fuori della cinta muraria della rocca, a volte addirittura integrate in essa, sorgevano case composte da stanze molto piccole, simili a celle, che erano accessibili dal tetto. Noi le interpretiamo come stanze delle provviste. Poiché inoltre il livello del suolo davanti al muro era cresciuto – in conseguenza del fatto che si erano spianate tutte le macerie – il muro era stato ricostruito e ampliato. Alcune porte non venivano più usate, ma la porta a sud, con la sua strada lastricata, era stata mantenuta in buone condizioni. Sull'estensione della città bassa si possono fare solo congetture. Appena 300 metri a sud della rocca, e quindi nella zona del fossato di Troia VI e all'interno del fossato di nuova costruzione di Troia VIIa, sono venuti in luce frammenti di argilla bruciati in cui è rimasta impressa la figura di un intreccio di vimini. Probabilmente si tratta dei resti di una decorazione murale di case più semplici. In quest'area si trovano anche fossati per l'eliminazione dei rifiuti o per la conservazione delle provviste.

È interessante anche una nuova ceramica, che fu prodotta senza l'ausilio del tornio da vasaio, alla quale appartengono i due tipi della «ceramica barbara» in Troia VIIb1 (*sopra a destra*), e la «ceramica a gobba» in Troia VIIb2. Per tecnica di produzione, forma e decorazioni, i vasi assomigliano ai prodotti dei Balcani meridionali, quali furono in uso dal corso inferiore del Danubio alla Tracia meridionale. Una simile innovazione implica un cambiamento di abitudini nel mangiare e nel bere. I generi di ceramica locale tipici di Troia VI non scomparvero completamente, né tanto meno lo stile miceneo, ma nel loro insieme i molti elementi estranei che si aggiunsero indicano che, al più tardi a partire dalla fase di Troia VIIb2, potrebbero essere arrivati altri gruppi di popolazione.

La guerra di Omero

Questa ripresa peraltro non durò a lungo. Dopo il 1050 a.C. la rocca fu abbandonata quasi totalmente e di nuovo il luogo si rifiuta di darci risposte chiare sulle cause. Da un lato le tracce di incendi e le punte di freccia suggeriscono una guerra, dall'altro alcune abitazioni di questo periodo sono fra le costruzioni meglio conservate: i loro muri hanno spesso ancora un'altezza superiore a 2 metri, cosa che non sembra conciliarsi con una conquista violenta o con catastrofi naturali. Si ha quasi l'impressione che la maggior parte degli abitanti della rocca ne sia semplicemente andata via.

Alcuni però rimasero, e conservarono le loro case in buon ordine. Cominciò una nuova era: la ceramica «protogeometrica», ossia la ceramica al tornio usuale nel mondo culturale greco durante i «secoli bui», coesiste con la ceramica tradizionale nelle macerie dell'insediamento e segna il passaggio dalla tarda Età del bronzo all'inizio dell'Età del ferro. Proprio a Troia e nei suoi dintorni, come Eceabat, nella provincia di Çanakkale, gli archeologi riconoscono una coesistenza di usi locali con nuovi usi, che manifesta-

Entrambe le foto: Gebhard Bieg, Universität Tübingen, Troia Projekt

La cosiddetta casa terrazzata (*a sinistra, la sua collocazione tra le rovine; a destra, una ricostruzione*) mostra che al tempo di Troia VII nella città bassa abitavano anche persone facoltose.

no una convivenza di gruppi di popolazione autoctoni con gruppi immigrati: un fenomeno che, come si è già ricordato, probabilmente non era niente di nuovo per questa regione.

A sud del muro della rocca si trovano inoltre tracce di un luogo di culto: fosse con offerte sacrificali, cerchi e file di pietre. Nel corso del secolo seguente, questo «santuario occidentale» fu ampliato, e nell'VIII secolo a.C. furono costruite alcune altre case fuori della rocca. Quando fu fondata l'antica Ilio non siamo ancora in grado di dirlo con un margine di precisione accettabile.

Oggi sappiamo che sotto il suo lastricato si trovava davvero il luogo principale della regione nell'Età del ferro. La rocca di Troia fu sempre costruita robusta, e spesso fu distrutta e di nuovo riedificata, di solito più forte di prima. Durante la tarda Età del bronzo la cittadella fu circondata anche da una città bassa ugualmente fortificata. Come scena del mito tramandato da Omero era dunque molto appropriata, ma non riesce a fornire una risposta precisa alla domanda di quando ebbe inizio la guerra di Troia. Secondo i risultati delle ricerche archeologiche, la fine di Troia VIIb appare piuttosto improbabile; quella di Troia VIIa, 1200 a.C. circa, potrebbe andar bene, ma potrebbe essere considerata altrettanto possibile anche la fine di Troia VI, intorno al 1300 a.C.

Se si includono poi le fonti scritte ittite e si identifica Wilusa con la Ilio di Omero, si dovrebbero prendere in considerazione i contrasti fra i greci micenei e gli alleati degli ittiti alla fine di Troia VI e la fine di Troia VIIa, intorno al 1200 a.C. L'ultima scelta sarebbe quella di collocare la guerra di Troia in prossimità del tramonto della civiltà micenea, ossia del ritiro dei probabili aggressori. Quando però, e in quale successione, siano bruciati i palazzi greci non è ancora stato chiarito con precisione.

Qualche esperto ritiene che gli eventi rappresentati nei poemi omerici, sempre che si tratti di eventi storici, avrebbero avuto luogo intorno al 700 a.C.: non solo perché *Iliade* e *Odissea* descrivono soprattutto la società dell'Età del ferro, ma anche perché raramente le tradizioni orali risalgono a ritroso per più di tre generazioni. Probabilmente però le cose sono più complicate. Poemi epici tramandati oralmente sono esistiti in molte parti della terra a partire dall'età più remota fino a oggi. Queste opere sono state perciò ben studiate. Si tratta spesso di composizioni che riuniscono fili narrativi di diversa età orientati sui desideri e le attese del pubblico a cui vengono presentate. In primo piano c'è sempre il racconto dell'origine del proprio gruppo e di imprese comuni risalenti a un lontano passato, ma si aggiungono anche altri aspetti: ideali e valori, rapporti di affinità e religione.

La ricerca omerica ha raccolto innumerevoli prove di contenuto, linguistiche e formali che elementi simili si riscontrano anche nei casi di *Iliade* e *Odissea*. I due poemi omerici erano narrazioni fondatrici di un'identità con riferimento a fatti storici. Lo si può accertare dovunque ci siano fonti storiche indipendenti per verificare i miti, si tratti del *Canto dei Nibelunghi* e delle numerose scoperte sulle migrazioni dei popoli del tempo o dell'Antico Testamento in relazione alla storia e all'archeologia di Israele: in tutti questi casi la realtà storica si mescola alla fantasia. Similmente, anche i conflitti armati della tarda età del bronzo possono avere formato il germe da cui si sono sviluppati in seguito i miti greci.

Il tentativo di realizzare una perfetta conciliazione fra archeologia, fonti scritte e poemi epici greci rimane un'impresa vana. I dati si riferiscono sì a uno stesso luogo e circa allo stesso periodo di tempo, più o meno lungo, ma sono complementari come le due facce di una moneta: immagini diverse che non si possono considerare contemporanee. ■

Gebhard Bieg, Universität Tübingen, Troia Projekt
Universität Tübingen, Troia Projekt

PER APPROFONDIRE

Troia – Traum und Wirklichkeit. Theiss K. e altri (*a cura*), Archäologisches Landesmuseum Baden Württemberg, in «Begleitband zur Ausstellung», Stoccarda, 2001.

Troia und Homer. Der Weg zur Lösung eines alten Rätsels. Latacz J., Koehler & Amelang, Lipsia, 6ª edizione, 2010.

Troia 1987-2012: Grabungen und Forschungen III, Troia VI bis Troia VII. Pernicka E. e altri (*a cura*), in «Studia Troica Monographien 7», Philipp von Zabern, Mainz (in preparazione).

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso
della disinformazione nei media

Le strane ali del signor Lanchester

Le pinne triangolari alle estremità delle ali degli aerei hanno una storia curiosa

Se vi siete mai chiesti perché gli aerei di linea hanno quelle strane pinne triangolari alle estremità delle ali e come mai prima non le avevano, le *winglet* (si chiamano così in gergo aeronautico) hanno una storia molto più lunga e curiosa di quel che si potrebbe pensare: risalgono addirittura a prima dello storico primo volo a motore dei fratelli Wright nel 1903.

Le concepì e brevettò nel 1897 l'ingegnere britannico Frederick Lanchester, uno dei padri dell'aerodinamica e pioniere dell'industria automobilistica, il quale aveva intuito che l'incontro fra il flusso d'aria che passa sopra l'ala e quello che le passa sotto genera invisibili vortici di estremità, che creano resistenza. Lanchester aveva anche capito che un piano verticale collocato a queste estremità avrebbe ridotto i vortici e migliorato l'efficienza del velivolo: lo stesso principio per cui le auto da corsa hanno pareti verticali agli estremi degli alettoni.

A quell'epoca il velivolo da ottimizzare e brevettare era un aliante-bomba, da usare in guerra: l'aviazione civile era ritenuta tecnicamente impossibile, visto che mancava un motore sufficientemente leggero. Lanchester propose anche di progettarne e costruirne uno, ma gli fu detto che nessuno l'avrebbe preso sul serio e così si dedicò a fabbricare auto. I fratelli Wright non furono avvisati che quel motore era impossibile e lo costruirono. Il resto è storia.

Lanchester aveva anche definito i concetti fondamentali di portanza, stallo e resistenza aerodinamica, ma le riviste scientifiche britanniche dell'epoca snobbarono e respinsero i suoi scritti. Nonostante la conferma scientifica delle sue intuizioni da parte del tedesco Ludwig Prandtl (padre della meccanica dei fluidi) pochi anni dopo, il suo contributo all'aviazione fu riconosciuto pubblicamente solo verso la fine della sua vita.

Frederick Lanchester morì nel 1946, povero e fiaccato dal morbo di Parkinson e dalla perdita della vista, poco dopo la fine di una guerra mondiale in cui i frutti delle sue idee impossibili avevano dominato i cieli e deciso le sorti di nazioni. Le sue alette finirono sostanzialmente nel dimenticatoio per settant'anni: provò a riprenderle un altro pioniere tedesco, Sighard Hoerner, negli anni cinquanta, ma le compagnie aeree erano in piena espansione, il carburante costava poco, si progettavano aerei di linea supersonici e a nessuno interessava risparmiare. Fino alla crisi petrolifera del 1973, che cambiò tutto.

Quell'improvviso ed enorme aumento dei prezzi del carburante spinse la NASA a investire urgentemente in ricerca aerodinamica. Uno dei suoi ingegneri aeronautici, Richard Whitcomb, rispolverò e migliorò le winglet di Lanchester, ispirandosi alle vele delle navi, non solo per risparmiare carburante ma anche per ridurre le pericolose turbolenze lasciate dal passaggio dei grandi aerei di linea. I risultati furono notevolissimi: oltre il sei per cento di autonomia in più, corse di decollo ridotte, pause più corte fra il decollo di un aereo e quello del successivo, minor rumore. Le alette furono adottate prontamente dai jet privati e poi dagli aerei di linea in numerose varianti e oggi sono onnipresenti.

Alle estremità. Le winglet, dalla forma caratteristica di pinne triangolari, permettono di risparmiare carburante e di ridurre le turbolenze generate dal passaggio dei grandi aerei di linea.

Takosan/iStock

Dietro quel piccolo dettaglio che scorgiamo dal finestrino del nostro volo vacanziero *low-cost*, insomma, c'è un secolo di storia, ci sono drammi di talenti incompresi e miopi ottusità, e c'è tanta scienza che merita di essere raccontata e ricordata. In particolare c'è tanta ricerca di base: quella che si fa senza sapere in anticipo a che cosa serve e che nessuno vuole finanziare perché ritenuta inutile.

di Beatrice Mautino
Biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti, l'e-book *Stamina. Una storia sbagliata* (2014) e *Contro natura*, con Dario Bressanini (Rizzoli, 2015)

Un coniglio col trucco

Nessun cosmetico oggi in vendita nell'Unione Europea è stato testato su animali

Vi sarà sicuramente capitato di notare il bollino dalla forma di un coniglietto stilizzato che compare sulla confezione di molti prodotti che troviamo in commercio. Ci sono aziende che ne fanno un marchio di fabbrica dichiarando di applicare regole rigorose a tutte le loro linee di produzione, altre che lo usano nelle pubblicità sottolineando per bene l'attenzione che dedicano al tema. Quello che però pochi sanno è che i prodotti con il bollino del coniglietto non sono gli unici a non essere stati testati su animali; anzi, da qualche anno a questa parte ogni cosmetico commercializzato nell'Unione Europea può essere definito *cruelty-free*. Perché differenziare i prodotti, quindi? Sono solo trovate pubblicitarie o c'è di più?

Il percorso di abbandono della sperimentazione dei cosmetici sugli animali è iniziato negli anni cinquanta. Le forti pressioni delle associazioni animaliste e la crescita di una sensibilità per questi temi nella società civile hanno spinto le aziende a trovare via via soluzioni alternative. I dati ufficiali ci dicono che nel 2008 dei 12 milioni di animali usati per test di laboratorio quelli usati esclusivamente per i cosmetici erano 1510, scesi poi a 344 nel 2009. La normativa sui cosmetici si è quindi adeguata a un divieto che, nei fatti, era già stato messo in atto dalle aziende.

A partire dal 2004 la sperimentazione animale sui prodotti finiti è vietata su tutto il suolo europeo; un divieto che si è esteso nel 2009 anche ai singoli ingredienti. Dal 2013, con l'introduzione del *marketing ban*, l'Unione Europea ha integrato il divieto di sperimentazione con il divieto di vendita di tutti i cosmetici testati su animali prodotti fuori dall'Europa. Insomma, anche volendolo fare, le aziende non potrebbero più testare i loro prodotti cosmetici sugli animali. Ma come la mettiamo con il bollino del coniglietto?

In Italia, la certificazione più diffusa è quella dell'ICEA, l'Istituto per la certificazione etica e ambientale, in collaborazione con la LAV, la Lega anti vivisezione. L'azienda che vuole ottenere il bollino deve dimostrare di non usare ingredienti testati sugli animali a partire dal tal anno, allegare carte e dichiarazioni dei fornitori e autocertificazioni e impegnarsi a ricevere la visita annuale degli ispettori (o con scadenze più distanziate nel caso di aziende piccole). Se l'esito della valutazione degli ispettori è positivo, allora l'azienda potrà usare il logo del coniglietto specifico per ICEA e LAV. Il tutto ovviamente ha dei costi e se qualcuno paga, qualcun altro incassa. Un'azienda potrebbe anche decidere di farsi certificare una volta sola, dichiarando di non usare ingredienti testati da 10, 20 o 30 anni e vivere di rendita per il futuro. Ma non funzionerebbe. Se l'azienda vuole mantenere il bollino del coniglietto, allora deve continuare a pagare l'ente certificatore ogni anno, anche se a partire dal 2013 non ci dovrebbe essere più niente da certificare.

Il messaggio che passa ai consumatori è che quell'azienda non fa sperimentazione dei suoi prodotti sugli animali lasciando intendere che invece le altre la facciano. Un problema non solo per i consumatori, ma anche per l'autorità garante della pubblicità. È di settembre 2014, infatti, la pronuncia del Giurì dell'Istituto per l'autodisciplina pubblicitaria in merito a una pubblicità televisiva in cui si descrivevano alcuni prodotti come «non testati sugli animali». L'azienda è stata multata per pubblicità ingannevole poiché l'affermazione era vera per tutti i produttori e ingannava il consumatore. Non per niente, il coniglietto di ICEA-LAV è accompagnato dalla scritta «Stop ai test su animali». Che non significa nulla sul piano pratico, ma almeno non corre il rischio di essere sanzionato. Non c'è da stupirsi se fra coniglietti inutili, bollini «bio», «eco-bio», «naturale», «organic», «vegan», «biodinamico» e chissà quanti altri, i consumatori ne escano un po' confusi.

Poiché tutti i cosmetici in commercio in Europa sono *cruelty free*, enfatizzare che un certo prodotto non è stato testato su animali può essere considerato pubblicità ingannevole.

PainterSaba/iStock

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie*, *OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello.*

Cucina alcolica

Stimare la quantità di alcool rimasto in una ricetta è importante per vari motivi

Le bevande alcoliche sono usate ovunque nel mondo e non solo per bere. Vino, birra e persino superalcolici sono spesso impiegati come ingredienti in molte ricette: dalla spruzzatina di vino per sfumare un soffritto alla birra per marinare il pollo al rum da incendiare in una banana flambé.

L'alcol etilico puro bolle a 78 °C, una temperatura inferiore a quella dell'ebollizione dell'acqua. Potrebbe venire quindi spontaneo pensare che cuocendo a temperature superiori alla fine l'alcool se ne sia andato del tutto. Preparando un cibo che contenga una miscela di acqua e alcool etilico, i vapori che si sviluppano sono più ricchi di alcool rispetto al liquido di partenza, perché più volatile dell'acqua. E poiché l'alcool evapora più velocemente dell'acqua, la sua concentrazione nel liquido diminuisce. Tuttavia anche se all'assaggio l'alcool sembra scomparso in realtà potrebbe essere ancora presente.

Stimare la quantità di alcool rimasto in una ricetta è importante per vari motivi. Poiché ha un contenuto calorico di sette chilocalorie per grammo, quasi il doppio degli zuccheri, è necessario tenerne conto per chi vuole tenere sotto controllo le calorie assunte. Vi sono poi persone che per motivi di lavoro, di salute, etici, religiosi o perché può interferire con alcuni farmaci non vogliono assumere neanche un grammo di alcol. Un esperimento ha mostrato che facendo bollire *vin brulé* per cinque minuti il grado alcolico passa dal 14 per cento al 5 per cento del volume, ma gli studi che riguardano preparazioni più complesse sono sorprendentemente scarsi.

Nel 1992, ricercatori dello U.S. Department of Agriculture hanno analizzato il contenuto di alcool residuo dopo la preparazione di sei ricette che prevedevano l'uso di vino o alcolici: da una salsa al Grand Marnier alle ciliegie flambé alla carne brasata. La percentuale di alcol iniziale trattenuto nel cibo dopo la cottura variava dal quattro per cento di un brasato di manzo cotto a 85 °C per 2,5 ore all'85 per cento di una salsa al Grand Marnier, in cui l'alcool è stato aggiunto all'ebollizione e la fiamma spenta immediatamente. Anche una cottura di ostriche gratinate al forno a 190 °C per 25 minuti ha lasciato il 40-50 per cento dell'alcool iniziale. Se i vapori dell'alcool sono incendiati per ottenere un effetto scenografico, la fiamma si mantiene solo fino a quando la concentrazione di alcool nei vapori è elevata, per poi spegnersi lasciando addirittura il 77 per cento di alcool incombusto nella ricetta. Calcolando i grammi di alcool assunti consumando una porzione delle varie ricette i ricercatori trovano comunque valori bassi, solitamente meno di un grammo, mentre un bicchiere di vino può contenerne una decina.

Più di recente, ricercatori danesi hanno studiato quanto alcool rimane in dieci ricette a base di birra. I risultati sono confrontabili con quelli dei ricercatori statunitensi: la concentrazione di alcol finale andava dallo zero al 2,5 per cento. In una porzione di porridge, preparato mettendo a bagno nella birra del pane di segale raffermo, dopo la cottura con acqua e zucchero per dieci minuti rimane circa un grammo di alcool. Nelle costine di maiale marinate, dopo la cottura non rimane alcuna traccia di alcool mentre in una porzione di carne di manzo brasata per tre ore nel vino o nella birra rimangono 0,1-0,2 grammi di alcool con un liquido finale di cottura con una gradazione alcolica dello 0,22 per cento. Dopo due ore di brasatura nel vino la gradazione alcolica del liquido era ancora l'1 per cento.

Un risultato controintuitivo dei ricercatori danesi è che se durante la bollitura si usa il coperchio il tempo di riduzione è ovviamente più breve, ma a parità di volume finale di liquido ottenuto, la concentrazione di alcool sarà minore. Quindi se, come fanno alcuni, preferite dealcolare il vino prima di usarlo, toglierete una quantità maggiore di alcool usando un coperchio.

Le bevande alcoliche compaiono tra gli ingredienti di moltissime ricette e possono essere usate per ottenere scenografici effetti flambé.

Instants/iStock

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Fiori, zappe e compassi

"Odio l'estate.»

Piotr scuote la testa, mentre pronuncia la frase e guarda Rudy. Rudy alza gli occhi dal giornale che sta leggendo in poltrona, segue lo sguardo di Doc che è tristemente diretto verso la finestra, e lì incontra la figura di Alice che, concentrata e alacre, alterna la scrittura di appunti su un foglio con l'attenta osservazione del paesaggio. Non trovando valide correlazioni immediate, il fumatore di pipa si limita a osservazioni di prammatica.

«Bruno Martino, vero? Celebre hit dell'inizio degli anni sessanta. Ma non capisco bene il senso della citazione, visto che siamo ormai verso la fine della stagione odiata e che immagino che tu non voglia far notare troppo in giro quanto siamo vecchi, se ci ricordiamo ancora certe antiche canzonette.»

«La musica leggera non c'entra, Capo. Odio l'estate soprattutto quando è prossima a cedere il passo all'autunno, perché è in questo periodo che Alice studia la forma delle aiuole del giardino e pianifica il disegno di quelle della prossima primavera. E questo significa un sacco di lavoro di zappa, vanga e rastrello.»

«Il giardino? Ancora?», si allarma Rudy, staccandosi dallo schienale. «Ma se abbiamo appena finito di risolvere problemi di geometria floreale applicata, non è possibile che...»

«Oh è possibilissimo invece, caro D'Alembert...» Alice non distoglie lo sguardo dalla finestra, ma è evidente che non ha intenzione di lasciar proseguire la discussione senza intervenire: «Quando si tratta di lavorare, il tuo avverbio "appena" è la parola più sottodimensionata del vocabolario. Vi aspetta un autunno denso di virili lavori tra zolle profumate, siate contenti: anche perché invece io, poverina, ho già un problema. Anzi due.»

«Cara Riddle, risparmia il sarcasmo... guarda che se i tuoi due problemi si chiamano "Rudy" e "Piotr", il meno che si possa dire è che dovresti esserci abituata, anzi dovresti ormai da tempo aver dimostrato l'inesistenza della soluzione. Se invece...»

«Invece, bel tomo, invece...», sospira Alice stancamente: «È da tempo immemore che vi ho promosso dal rango di "problemi difficili" a quello delle "catastrofi inevitabili". No, i problemi che ho in mente sono molto, molto, molto più semplici.»

«Alice, Rudy, vi dispiace se taglio la proverbiale testa all'ancor più proverbiale povero toro? Treccia, c'è qualche remota possibilità di evitare il lavoro di giardinaggio? Altrimenti, c'è qualche vaga possibilità che discuterne qui e ora possa aiutarci? Dimmelo subito, che mi porto avanti con il lavoro andando a lucidare gli attrezzi...»

Alice resta pensierosa per un paio frazioni di secondo dal denominatore molto più grande del numeratore: «Nah, Doc, niente da fare... lucidare gli attrezzi è comunque una buona idea. Certo, visto che i problemi sono davvero due e ben diversi, forse la scelta matematicamente più opportuna può permettere a uno di voi un minore impegno zappatorio, ma...»

«Ma niente – sbuffa Doc – figurati se oltre a spaccarmi la schiena zappando devo pure spaccarmi la testa pensando. Facendo a gara con uno scansafatiche con alte capacità di calcolo, poi... Mi prendo il primo problema e le annesse sudate di vanga e rastrello, e amen. Il secondo lo passi a Rudy, e chi si è visto si è visto.»

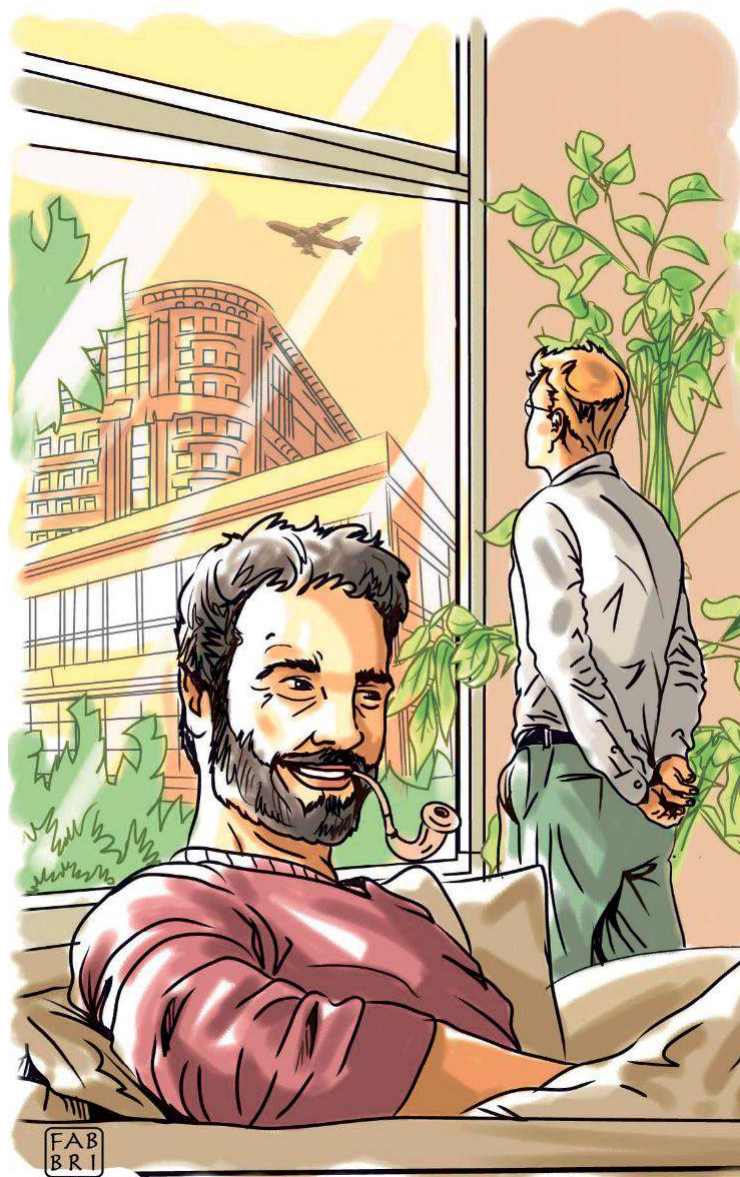



Illustrazione di Stefano Fabbri

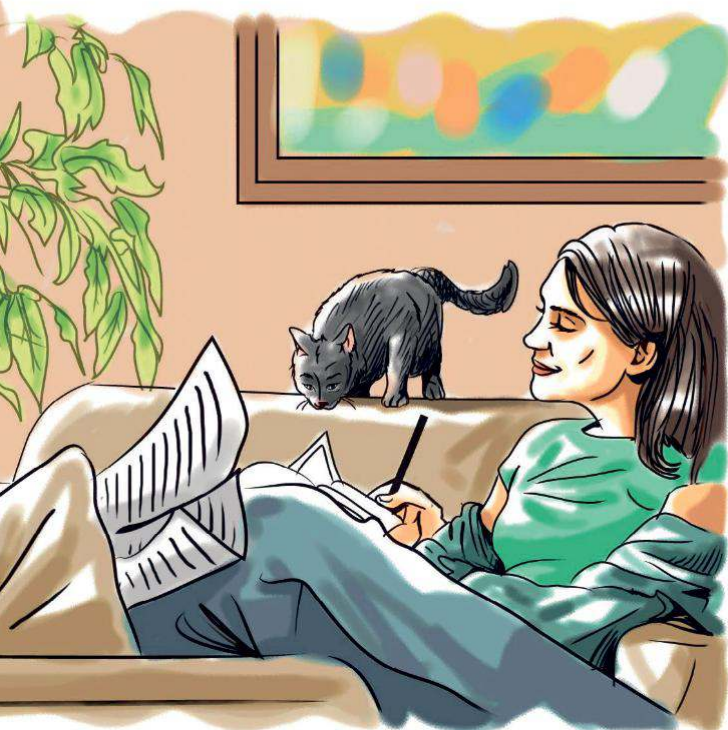
«Beh, pensavo, tanto per cominciare, a una grande aiuola quadrata; nel quadrato volevo inscrivere un cerchio, e nel cerchio inscrivere un altro quadrato con i lati paralleli ai lati del quadrato grande...»

«...e avanti in questo modo, in una versione bidimensionale del Cubo di Turner?», fa Rudy, improvvisamente entusiasta: «Mi sembra una bellissima idea, ma la vedo di difficile realizzazione pra-

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di ottobre e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

L'estate sta finendo e Alice studia la forma delle aiuole del giardino, pianificando quelle della prossima primavera

IL PROBLEMA DI AGOSTO

Ipotizzando di avere una scacchiera *N* x *N* le cui caselle mobili e double-face siano inizialmente disposte nella maniera tradizionale, nel numero del mese scorso si cercava di capire quante «mosse» occorressero a un algoritmo per ricondurre tutte le caselle a uno stesso colore, tenendo conto che per «mossa» si intende il rovesciamento integrale di un «rettangolo» di caselle. La risposta è che bastano *N* mosse se *N* è pari e $N-1$ se invece è dispari. Il bordo della scacchiera è composto di $4(N-1)$ caselle. Sia *A* il numero delle volte che due caselle adiacenti del bordo sono di colore diverso; la condizione iniziale, quindi, è $A = 4(N-1)$ e quella finale $A = 0$. Si noti che se il rettangolo selezionato non comprende il bordo, per qualsiasi mossa il valore di *A* non varia, mentre se un solo lato del rettangolo si trova sul bordo, il valore di *A* varierà di 2, stante il fatto che quanto accade all'interno del rettangolo non impatta su *A*, e che questo aumenterà se le due caselle confinavano con caselle dello stesso colore, diminuirà nel caso opposto. Se il rettangolo attraversa tutta la scacchiera, il «bordo» è impattato due volte, e in questo caso *A* varierà di 4. Analogamente si nota che se il rettangolo selezionato contiene uno o due angoli, *A* varierà al più di 2. In sostanza, l'algoritmo più efficiente farà decrescere ogni volta A di 4, a meno che la mossa contenga uno o due angoli, nel qual caso diminuirà solo di 2. Ma è possibile non coinvolgere angoli solo nel caso di una scacchiera di lato *N* dispari (portando tutta la scacchiera al colore degli angoli), mentre nel caso di una scacchiera pari almeno una mossa coinvolgerà uno o due angoli. E quindi sarà composto da $N-1$ mosse, ciascuna delle quali coinvolgerà un rettangolo con almeno un lato pari a *N*. Un algoritmo molto semplice di questo tipo è quello che seleziona i rettangoli «riga» *N* x *1* e quindi i rettangoli «colonna» *1* x *N* che iniziano con lo stesso colore.

tica... Dove li trovi i fiori infinitesimi da sistemare nelle regioni centrali?»

«No, macché: mi fermavo ai due quadrati, e anzi pensavo poi di ignorare il cerchio, che serve solo per la costruzione. Pensavo di riempire il quadrato più piccolo con tulipani e la parte restante del quadrato grande con nasturzi.»

«Nasturzi?»

«Non fare quella faccia, Doc: nasturzi, certo! Amabili fiori d'origine peruviana, mai sentiti nominare? Sono molto graziosi e abbastanza resistenti, anche se mi piacciono di più i tulipani. E il primo problema è proprio questo: non vorrei ci fosse alla fine più terreno destinato ai nasturzi che ai tulipani. Che ne pensate, è forse il caso che inverta i fiori? Nasturzi dentro e tulipani fuori?»

Rudy agita annoiato la mano, ordinariamente armata di pipa spenta: «Bene, sarà Piotr a consigliarti, visto che si è appropriato subito del problema: vogliamo passare a qualcosa più degno del mio cervello e della mia zappa?»

Alice alza un sopracciglio: «Sì, degno della tua zappa, come no... Ma sia: siccome il tutto mi sembrava un po' troppo simmetrico, ho preso in considerazione un ulteriore cerchio, quello circoscritto al quadrato grande.»

«...il che aggiunge ulteriore simmetria, almeno per il momento...», commenta Piotr.

«Doc, tu pensa al tuo problema e alla tua zappa. Di questo grande cerchio (chiamiamolo GC, in onore di Rudy) ne terrei solo un pezzo: pensavo infatti di tirare una corda di GC e usarla come diametro di un semicerchio che finirà al di fuori di GC. L'aiuola che immagino sarebbe insomma formata dall'area compresa tra l'arco di GC e quel semicerchio. Insomma, dovrebbe venir fuori una specie di mezzaluna...»

«Una specie di "fase di Luna", direi... la mezzaluna ha un lato rettilineo, e qui non ne vedo. Ma solo una "specie", comunque. Sì, l'asimmetria ci sarà di sicuro, anche per la casualità della scelta della corda...»

«Casuale un bel niente, Rudy. La corda la voglio tracciare in modo tale che il punto più lontano del semicerchio sia il più lontano possibile dal centro dei due cerchi e dei quadrati. È qui che mi areno: qual è la corda giusta?»

«Oh, sono proprio contento!»

«Sei contento perché non so risolvere un problema di geometria euclidea, Capo? Vuoi sapere quali epiteti mi ispiri, quando fai così?»

«Ma no, Treccia! Il problema è grazioso, degno della mia mente. Ma io sono contento soprattutto perché anche l'aiuola è degna della mia zappa: direi che non c'è dubbio sul fatto che dovrò vangare meno di Piotr. »

Il nostro posto nel mondo

Storia del dove

di Tommaso Maccacaro e Claudio M. Tartari

Bollati Boringhieri, Torino, 2017, pp. 148 (euro 14,00)

Guardare il mondo intorno a noi. Prima vicino: i luoghi dove ci sono le migliori prede, dove fermarsi a dormire, dove trovare acqua, dove creare un insediamento stabile. E poi alzare gli occhi al cielo, osservare il Sole, la Luna, le stelle e i loro moti periodici.

Homo sapiens ha osservato, descritto, disegnato il proprio «dove», creando concetti e teorie in grado anche di rendere conto della regolarità di certi moti, o delle dimensioni e della forma del nostro pianeta. Necessità pratiche sono dietro a queste imprese intellettuali, che con il tempo sono diventate sempre più complesse. Il cosmo relativamente semplice degli antichi, si è lentamente espanso, in cielo e in terra. I diversi popoli, in Mesopotamia come in Cina, avevano orizzonti geografici piuttosto limitati, e poche semplici cognizioni sui movimenti delle stelle e dei pianeti.

Nonostante l'assenza di strumenti precisi, nonostante teorie fisico-matematiche ancora approssimative, l'età antica riuscì comunque a raggiungere risultati notevoli, per esempio sulla forma del nostro pianeta. Ma certo la «Terra piatta» non esisteva già nella Grecia di Aristotele, e solo nella cultura popolare la nozione di un pianeta bidimensionale rimaneva presente, più che altro a scopi metaforici (ricordiamo l'Ulisse della *Divina Commedia* che precipita oltre le colonne d'Ercole).

In questo libro, denso e complesso, l'astrofisico Tommaso Maccacaro e lo storico Claudio M. Tartari ripercorrono i concetti fondamentali che nel corso dei secoli hanno cercato di trovare il nostro posto nell'universo. Quasi nulla è lasciato da parte, iniziando dalle prime mappe celesti prodotte già 15.000 anni fa e venute alla luce sui Pirenei. A pochi millenni dopo risalgono le sepolture neolitiche orientate: i corpi sono allineati con il capo verso est, dove nasce il Sole. Il movimento degli astri diventa misura del tempo e strumento di orientamento.

Gli astri però sono anche misura dell'umano: Sole e Luna sono i più evidenti, ma uno speciale ruolo ha da sempre la stella del mattino, senza particolari risvolti pratici, che diventa Ishtar (da cui la parola «astro») per i Babilonesi, e il pianeta Venere nella culla greca della cultura occidentale. Si ammira nei primi capitoli soprattutto il coraggio di chi guardava la Terra e il cielo per esplorare lo spazio attorno a sé. Navigatori nelle isole dell'Oceano Pacifico, a bordo di piroghe, trovare rotte in mare aperto per andare e tornare da briciole di terraferma; o carovane in esplorazione senza mappe, all'oscuro di rischi e delle distanze. E d'altra parte proprio l'ignoranza fu alla base del viaggio di Cristoforo Colombo, che se avesse saputo davvero quanto erano lontane le Indie andando verso ovest forse non si sarebbe mai mosso.

Proprio nel periodo della conquista dell'America, cambia anche la scienza occidentale. Nel XVI secolo Copernico scrive delle «rivoluzioni» dei corpi celesti e rivoluziona la nostra prospettiva sull'universo. Galileo alzerà gli occhi al cielo, non troverà un cielo divino, ma nuovi corpi, mai osservati prima di allora. D'altra parte, Galileo stava usando un nuovo strumento, rivoluzionario: il telescopio. L'evoluzione dei telescopi e dei mezzi per percepire meglio quello che è intorno al nostro pianeta è lo sfondo indispensabile per l'allargamento dell'osservazione dell'universo e dei corpi celesti: pianeti, stelle, galassie, comete e così via.

Chiudono il libro tre capitoli «numerici»: quali sono le probabilità che ci siano altri pianeti abitabili (e magari anche qualcuno che li abita...); quante sono le stelle; quanti sono, o potrebbero essere, gli universi. Sono domande antiche a cui finalmente possiamo dare risposte un po' più solide rispetto a quelle dell'inquisitore Bellarmino, il quale condannò Giordano Bruno per l'eresia della pluralità dei mondi. Il libro è quindi una rapida, ma in alcuni punti profonda, storia dell'astrofisica, raccontata senza che molto sia dato per scontato (ma forse non tutti sanno che cosa sia una sfera armillare, per esempio, e purtroppo il libro non lo spiega). Finita la lettura, rimane soprattutto l'emozione dell'impresa intellettuale compiuta dall'umanità nel corso dei millenni (e con una straordinaria accelerazione recente) e la bellezza delle teorie che la ricerca scientifica recente ha prodotto, dando forma al nostro «dove».

Mauro Capocci

Le fondamenta e gli ultimi sviluppi della teoria di Darwin

La teoria dell'evoluzione
di Telmo Pievani
Il Mulino, Bologna, 2017,
pp. 134 (euro 11,00)

Dalle leggi dell'ereditarietà alla storia profonda di un organismo scritta nel suo DNA, ci sono innumerevoli fattori importanti per capire l'evoluzione che Charles Darwin non poteva conoscere. È sorprendente, quindi, come il nucleo di base della sua spiegazione abbia retto bene: variazione, eredità e selezione sono i capisaldi su cui oggi poggia l'architettura della teoria evolutiva. Che quindi – a dispetto delle integrazioni e revisioni giunte con i progressi delle discipline più varie, dalla genetica alla paleontologia, dall'ecologia all'embriologia o alla biologia molecolare – si può tuttora definire a pieno diritto darwiniana.
Telmo Pievani, filosofo delle scienze biologiche all'Università di Padova, ne dà un panorama che illustra tutti gli snodi fondamentali dalle basi classiche agli ultimi sviluppi. Con grande attenzione a chiarire dettagli e concetti e, soprattutto, a puntualizzare i comuni fraintendimenti, da quelli abbastanza risaputi (noi umani non deriviamo dagli scimpanzé) a quelli che a volte ingannano ancora i non specialisti: la serie di processi dinamici che chiamiamo adattamento, anche quando dà i suoi risultati più efficaci e spettacolari, è tutt'altro che un sinonimo di perfezione. Scandagliati i meccanismi di variazione, selezione e speciazione, Pievani allarga gli orizzonti: l'evoluzione non è un trimotore ma un quadrimotore, sospinto anche dai processi ecologici su larga scala. Grandi perturbazioni geologiche o climatiche, un meteorite, o altri sconvolgimenti che d'improvviso cambiano le regole del gioco, creano dinamiche macroevolutive coerenti con i meccanismi di base ma non del tutto riducibili a questi, anch'esse decisive nel plasmare la storia della vita.

Giovanni Sabato

Una guida precisa e aggiornata alla cosmologia

skynesher/iStock

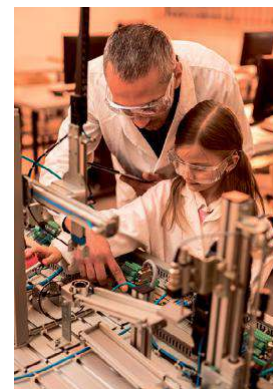
L'universo oscuro
di Andrea Cimatti
Carocci Editore – Città della scienza,
Roma, 2017,
pp. 172 (euro 14,00)

Alzando gli occhi in una limpida notte d'estate, colti dalla meraviglia del cielo stellato, a molti lettori (se non a tutti), sarà capitato di iniziare a porsi domande come: dove siamo nell'universo? Quanto è grande? Avrà una fine? È proprio con un'immagine simile che inizia il percorso del libro di Andrea Cimatti, che non a caso ha come sottotitolo *Viaggio astronomico tra i misteri del cosmo*. Già, perché il volume, pubblicato dall'editore Carocci in collaborazione con Città della scienza di Napoli, è un vero e proprio viaggio, sintetico ma completo, alla ricerca delle risposte a quelle domande.
Così l'autore, che insegna astronomia all'Università di Bologna, ci guida capitolo dopo capitolo attraverso le conoscenze che nel corso degli ultimi quattro secoli, ma, soprattutto, degli ultimi decenni, abbiamo acquisito del cosmo che ci circonda. Per arrivare a scoprire, in una sequenza precisa e puntuale di argomentazioni (che vanno dall'astrofisica alla cosmologia, passando anche dalla fisica delle particelle), che in realtà quello che non sappiamo è molto di più rispetto a quello che sappiamo. Ecco perché il titolo parla di universo oscuro: proprio perché le stelle che brillano sopra le nostre teste sono solo una piccola parte di quella che i cosmologi hanno scoperto essere la composizione dell'universo. Un universo governato da materia ed energia oscure, che assieme rendono conto del 95 per cento della materia-energia totale, e in cui la materia ordinaria – appunto quella di cui sono fatte le stelle, i pianeti, noi – occupa solo il restante 5 per cento. Per chi voglia farsi un'idea precisa e aggiornata della cosmologia, il libro di Cimatti è una sponda sicura e chiara, oltre che rigorosa, a cui approdare.

Emiliano Ricci

Una notte da passare con i ricercatori

Se in Italia la scienza non gode di buona reputazione presso l'opinione pubblica, come sottolineato più volte da autorevoli commentatori, allora che si porti più scienza tra i cittadini, anzi: più scienziati. Uno degli appuntamenti più efficaci in questo senso è la Notte europea dei ricercatori, che si terrà tra venerdì 29 e sabato 30 settembre. È un'iniziativa finanziata e sponsorizzata dalla Commissione Europea, il cui obiettivo è mettere in contatto mondo della ricerca e cittadinan-

za per favorire la diffusione della cultura scientifica e la conoscenza dei mestieri degli scienziati.
Italia la Notte europea dei ricercatori riguarderà decine di città da nord a sud, isole comprese. Si potrà partecipare a visite guidate in laboratori in genere chiusi al pubblico, a spettacoli scientifici interattivi, esperimenti pratici, seminari, grazie al coinvolgimento di grandi istituzioni di ricerca pubbliche, università, amministrazioni e realtà locali. Vista l'impossibilità di fare anche un minimo riassunto utile delle iniziative vi segnaliamo il sito ufficiale dell'evento italiano: www.nottedeiricercatori.it. Per tutte le iniziative nel Vecchio Continente e in pesi limitrofi: ec.europa.eu/research/researchersnight/events_it.htm (*cb*)

Vita sintetica
di Enrica Battifoglia
Hoepli, Milano, 2017,
pp. 136 (euro 12,90)

Organismi artificiali, la nuova era della biologia

«Da settant'anni stiamo cavalcando le potenti onde generate dal discorso di Schrödinger ed è difficile immaginare dove potranno portarci nei prossimi settant'anni: ovunque sia diretta questa nuova era della biologia, so che quel viaggio ci farà crescere ancora e che sarà straordinario». Parole che Craig Venter, il principale protagonista del libro scritto dalla giornalista dell'ANSA Enrica Battifoglia, ha pronunciato il 12 luglio del 2012 nella medesima aula del Trinity College dove Erwin Schrödinger aveva tenuto la conferenza pubblica dal titolo *Che cos'è la vita?* In realtà Venter, ricercatore e imprenditore statunitense, sapeva benissimo dove voleva portare la biologia.
Un paio di anni prima all'istituto che porta il suo stesso nome aveva realizzato la prima forma di vita sintetica, un batterio (*Mycoplasma mycoides*) con un DNA ricostruito in laboratorio. Al grido della stampa mondiale che parlare di «vita sintetica» fosse un'esagerazione, dal momento che solo il DNA della cellula era stato progettato al computer dai ricercatori dell'istituto, Venter ha risposto indirettamente nel 2016 con Synthia 3.0, un batterio sintetico che conteneva il numero ritenuto minimo di geni (473) per funzionare normalmente. Come dire: voi parlate, io faccio e alla fine vedremo chi rimarrà nella storia.
A proposito di fare, Battifoglia ricostruisce una storia meno nota ma che mostra l'efficacia dell'incontro tra informatica e biologia al centro del libro, e di cui Venter è un pioniere fina dai tempi di Celera Genomics che ha concorso al Progetto genoma. La domenica di Pasqua 2013, dopo le paure che avevano scosso l'Asia, viene lanciato l'allarme per un nuovo virus dell'influenza aviaria: H7N9. Con le otto sequenze di RNA decodificate in pochi giorni da scienziati statunitensi e cinesi, al Venter Institute sintetizzano geni e virus a partire da un *file*, permettendo di cominciare a lavorare al vaccino già il sabato successivo. Fantascienza diventata realtà: velocità di risposta e la comodità di non dover trasportare materiale biologico.
Il libro ripercorre non solo la traiettoria di Venter, ma ne ricerca le radici nell'evoluzione della biologia dell'ultimo secolo e ne intravede i possibili futuri, attraverso la voce di protagonisti della scienza di oggi. Al sottotitolo, che sembra voler dire che le creazioni dell'essere umano non facciano parte della natura, risponde indirettamente lo stesso Venter: «Di vita artificiale si parla al cinema e nei videogiochi, mentre le mie ricerche sulla vita sintetica sono reali». Non fantascienza, quindi, ma semplicemente scienza.

Marco Boscolo

Le rivoluzioni dell'universo
di Giovanni F. Bignami
Giunti, Firenze, 2017
pp. 240 (euro 20,00)

L'ultimo racconto del cielo firmato da Giovanni Bignami

Riuscire a raccontare la storia dell'universo in un tweet è una delle sue ultime idee geniali. Giovanni Bignami è stato capace di fare anche questo prima di lasciare la vita 1.0, lo scorso maggio, che ha bruciato con intensità, passione, e sempre da protagonista. Sapeva parlare del cielo in modo che ti faceva innamorare dell'astronomia e lo sapeva fare magistralmente con tutti. Ma niente panico, come avrebbe detto lui, la sua divulgazione continua attraverso questo rivoluzionario saggio, consegnato a Giunti qualche giorno prima di cavalcare la sua ultima cometa. Con una chicca in più rispetto alle altre precedenti opere. Nel dipanare i pensieri più audaci, sono emersi anche i ricordi più luminosi: commoventi storie di vita vissuta e tanta avventura, come piaceva a lui.
Affascina di più sapere come è nato l'universo oppure come morirà? Tra il primo e il secondo evento, in mezzo, c'è un lungo processo evolutivo, che stiamo studiando attraverso cinque diversi messaggeri celesti. Nel corso dei 40 anni della carriera di Bignami la tecnologia per capire il cielo è migliorata molto di più che nei 400 anni trascorsi dai tempi di Galileo, e nei 4000 anni da quando *Homo sapiens* ha iniziato a guardare le stelle. In meno di un quinto di secolo siamo stati protagonisti di ben tre rivoluzioni, e l'idea dell'universo è cambiata radicalmente, anche perché adesso sappiamo che nel suo interno ce ne sono almeno altri due: energia oscura e materia oscura. Stiamo fischiando ancora nel buio, ma non troppo. La nostra capacità osservativa sta facendo passi da gigante e siamo ottimisti nel pensare che i risultati arriveranno a breve. Di recente abbiamo scoperto le onde gravitazionali e altri pianeti che girano intorno ad altre stelle. Quello che rimane da trovare è la vita 2.0, e sarà la quarta rivoluzione, forse la più importante per l'umanità. Un cosmo diverso da tutti gli altri, che ci affascina ma ci terrorizza insieme, quello della vita aliena.
E nell'ultimo capitolo, roba per palati forti. Con precisione scientifica, Bignami prevede il futuro: la fine della Terra, del Sole e dell'universo. Per fortuna nessuno di noi potrà mai vivere questa esperienza; scompariremo molto tempo prima. Ma stiamo sereni, ci rimane ancora circa un miliardo di anni per vivere tranquilli, scongiurando eventuali attacchi alieni. Nel raccontare l'ultimo respiro dell'universo, Bignami ci tiene per mano, fornendoci quattro soluzioni «fuori dalla scatola» per controllare possibili eccessi di angosce cosmiche. Anche in questo è stato grande perché, fuori dalla scatola, lui ha pensato sempre. Come pochi sanno fare.

Cristina Bellon

Un ponte tra scienza e mare

La sesta edizione di Trieste Next ha il mare come comune denominatore delle relazioni tra ricerca scientifica, innovazione tecnologica e imprenditoria

Trieste è stretta tra l'altopiano del Carso e l'Adriatico, condizione che l'ha sempre spinta a rivolgersi al mare, trasformando il mare in una sorta di ponte verso il resto del mondo. Un ponte che, ovviamente, è possibile percorrere in ambo le direzioni: verso il mare aperto per le navi austriache quando Trieste era il proprio porto mediterraneo dell'Impero; verso la città per gli scienziati che fanno ricerca nei tanti istituti scientifici del Sistema Trieste. Un flusso che è simbolicamente cominciato nel 1964 con la fondazione del Centro internazionale di fisica teorica voluto dal fisico pakistano Abdus Salam, e che aumenterà di portata nel 2020, quando la città giuliana sarà la Capitale Europea della Scienza e verrà «travolta» dall'onda grande di ESOF (EuroScience Open Forum).

Il mare come comune denominatore delle relazioni tra ricerca scientifica, innovazione tecnologica e imprenditoria è al centro della sesta edizione di Trieste Next. Un «mare di scienza» che non è solo oceanografia e biologia marina, ma anche biotecnologie, bioinformatica, *information* e *communication technology*, e addirittura banco di studio per l'astrobiologia. Tra i protagonisti degli oltre 60 eventi tra conferenze, dibattiti e *workshop* ci saranno Antonio Lazcano che ci guiderà alle origini della biochimica e della vita; il campione mondiale di apnea Mike Maric, di origine istriana; l'esperto di comparazione di letterature, attività quanto mai adeguata a Trieste, Wolfgang Proβ; e poi l'architetto Mario Cucinella, l'astrofisica Sandra Savaglio, oltre ai consueti laboratori organizzati nei padiglioni di Piazza Unità d'Italia.

Ad aprire l'evento sarà il Next Maritime Technologies' Day, una giornata di confronto internazionale voluta da Mare FVG, *cluster* di riferimento per le tecnologie marittime e la *blue growth*. L'obiettivo è favorire e sviluppare la ricerca scientifica e applicata, lo sviluppo tecnologico e la formazione, con un focus specifico dedicato alle metodologie di progettazione e sviluppo di nuove tecnologie verdi e per l'efficienza energetica. Tecnologia avanzata che caratterizza anche una nave speciale come l'*OGS Esplora*, dotata di laboratori e strumenti che le permettono di fare ricerca anche tra i ghiacci. Dopo dieci campagne in Antartide e quattro alle Isole Svalbard si prende una pausa di tre giorni anche dai servizi alle imprese che operano in area artica gettando l'ancora nelle acque di Trieste, prima di tornare a esplorare gli abissi.

Marco Boscolo

Tutti in piazza. Edizioni passate di Trieste Next, evento che prevede anche momenti di aggregazione per grandi e piccoli.

Foto Martina Micalizzi (3)

Dove & quando:

Trieste Next
Un mare di scienza
dal 21 al 23 settembre,
Trieste, sedi varie
www.triestenext.it

Il futuro dell'astronomia gravitazionale

di Fulvio Ricci e Giovanni Losurdo

Dopo diverse rilevazioni delle onde gravitazionali previste da Albert Einstein oltre un secolo fa, è ormai evidente che gli scienziati che studiano il cosmo possono contare su un nuovo potente strumento d'indagine per svelare i misteri della nascita e dell'evoluzione dell'universo. Grazie all'interferometro VIRGO, l'Italia svolge un ruolo da protagonista in questo ambito di ricerca.

Dialoghi con se stessi

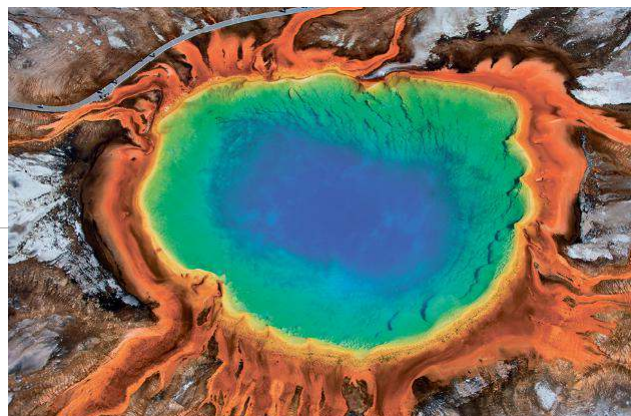
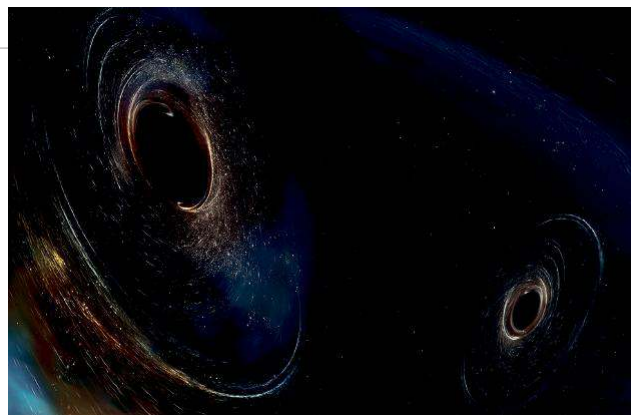
di Charles Fernyhough

Parlare mentalmente a se stessi – un fenomeno che gli psicologi chiamano linguaggio interiore – ci aiuta, fra altre importanti funzioni, a regolare le emozioni e a essere creativi. Studi recenti basati su neuroimmagini stanno ora rivelando alcune basi neurali di queste conversazioni private.

Sorgenti di vita

di Martin J. Van Kranendonk, David W. Deamer e Tara Djokic

L'ipotesi prevalente tra gli scienziati è che le prime forme di vita siano emerse nelle profondità degli oceani. Nuovi elementi ora indicano invece che sistemi di pozze vulcaniche e di sorgenti termali sulla terraferma ospitano gli ingredienti necessari per la nascita e l'evoluzione di organismi viventi.

LIGO/Caltech/MIT/Sonoma State/Aurore Simonnet (*buchi neri*); Werner Van Steen/Getty Images (*Yellowstone*)

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 90, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Andrea Mattone (*grafico*), Cinzia Sgheri, Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Daria Orsi (tel. 02 57494475, 345 4415852)
e-mail dorsi@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - agosto 2017

ISSN 2499-0590

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong, David Biello, Larry Greenemeier, Ferris Jabr, John Matson

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and associate publisher: Michael Voss;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Silvio Ferraresi: *La trama dei ricordi;* Eva Filoramo: *L'evoluzione della danza;* Daniele Gewurz: *Buchi neri dal principio del tempo;* Cristina Serra: *Le verità confuse sulla perdita di peso*; Libero Sosio: *Alla ricerca di Troia*; Alfredo Tutino: *Le città che potrebbero salvarci, Usare gli scarti, Da parcheggio a paradiso, Il senso del lichene.*

Notizie, manoscritti, fotografie, e altri materiali redazionali inviati spontaneamente al giornale non verranno restituiti.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Abbonamenti: abbonamentiscienze@somedia.it
Arretrati e prodotti opzionali: lescienzevendite@somedia.it
Tel. 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Fax 02 26681991.
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 83432422; fax 02 70648237;
mail grandiclienti@somedia.it

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00
Estero	
abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

FIEG
Accertamento diffusione stampa certificato n. 8286 del 3/2/2017